

## DEGRADACIÓN SUPERFICIAL EN SUELOS CON DIFERENTE HISTORIA DE USO AGRÍCOLA

DENOIA, J.<sup>1</sup>; GIORGI, D.<sup>1</sup> & FERNANDEZ, S.<sup>1</sup>

### RESUMEN

Se analizó la evolución de la degradación superficial en parcelas de un mismo suelo con diferentes años de uso agrícola (suelo virgen, 6 años, 12 años y 30 años). Se empleó el Índice de Estado de Degradación Superficial (IEDS). La degradación superficial creció rápidamente en los suelos incorporados a la agricultura. En los primeros 6 años de agricultura, disminuyeron los contenidos de materia orgánica (15,9%), fósforo disponible (34,6%), nitrógeno total (21%) y la estabilidad de agregados al agua (18 puntos porcentuales), y se incrementaron la pérdida de agua como escurrimiento superficial (63,4%), la producción de sedimentos a los 15 minutos de iniciada la lluvia (41,6%) y a los 30 minutos (76%) y la densidad aparente (41%). A los 12 y 30 años de agricultura, la tendencia a la degradación continuó pero a una tasa menor, manifestándose la importancia de los primeros años de uso en el proceso de deterioro. El método empleado evidenció a la degradación superficial generada por el uso agrícola.

*Palabras clave:* suelos, degradación superficial, agricultura.

### SUMMARY

#### **Superficial degradation in soils with different history of agricultural use.**

The evolution of superficial degradation in plots of one soil with different years of agricultural use (virgin soil, 6 years, 12 years and 30 years) was analyzed. The Superficial Degradation Condition Index was employed. Damage increased quickly when soils were incorporated in agriculture. In the first 6 years of agriculture, decreased the organic matter contents (15,9%), available phosphorus (34,6%), total nitrogen (21%) and stability aggregate (18 percentual points), while water loss through of shallow draining (63,3%) and soil loss in the first 15 minutes of rain (41,6%) and the 30 minutes (76%) together with bulk density (41%) increased. At the 12 and 30 years of agriculture, the trend to the degradation decreased, to making evident the importance of the first years of use in the degradation process. The method was useful for to make evident the superficial degradation due to the agricultural use.

*Key words:* soils, superficial degradation, agriculture.

## INTRODUCCIÓN

La región Pampeana constituye el área de mayor potencial productivo de la Argentina, siendo la agricultura la actividad más importante tanto por la superficie que ocupa como por los ingresos que genera.

Como resultado de esta actividad, son numerosos los problemas que afectan la calidad de los recursos naturales agua y suelo. En relación a éste último, existe un variado espectro de propiedades relacionadas a su degradación (Taboada, 1998) y que afectan la expresión de su productividad. El carácter restrictivo de la degradación sobre el potencial productivo de un suelo ha sido suficientemente estudiado, en particular respecto a procesos jerarquizados por su amplia difusión en las áreas agrícolas pampeanas como la erosión hídrica, la disminución de la fertilidad química y la pérdida de agua por escurrimiento superficial.

Estos procesos de degradación tienen un origen complejo aunque diversos autores coinciden en señalar que el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de la Región Pampeana se ha acelerado como consecuencia de la consolidación del proceso de agriculturización, ocurrido a partir la década del 80 (Michelena *et al.*, 1996; Taboada, 1998; Micheloud *et al.*, 2001; Montico, 2004).

Numerosos son los antecedentes de trabajos en esta región orientados a la caracterización y cuantificación del proceso de degradación, entre los que merece atención el de Michelena y col (1986), quién en un estudio comparativo entre situaciones sin perturbar y afectadas a la producción agropecuaria, realizado sobre una superficie de 1.500.000 has de la subregión Pampa Ondulada, determinó una pérdida del 21 % al 56 % del tenor de materia orgánica, del 33 % y el 69 % del nitrógeno total y del fósforo dispo-

nible, respectivamente, y una reducción de la estabilidad estructural entre 40 % y 64 %, concluyendo que el estado de degradación de los suelos de esta área es generalizado.

Muchos procesos vinculados a la degradación de los suelos, tienen su origen y a la vez se manifiestan principalmente en los primeros centímetros del perfil, lo que hace necesario centrar el análisis del deterioro de las propiedades edáficas en esta porción del perfil. A los fines de establecer la evolución de la degradación superficial en suelos destinados a la agricultura, se han seleccionado cuatro situaciones diferentes en cuanto al tiempo de uso en un mismo suelo, representativo de las áreas agrícolas de la cuenca del río Carcarañá y se empleó un índice desarrollado para cuantificar el estado de degradación superficial de los suelos.

La hipótesis bajo la cual se desarrolló este trabajo fue que el uso agrícola de los suelos provoca un incremento en el estado de degradación superficial desde los primeros años de actividad y este efecto puede ser evidenciado a través de la determinación del Índice de Estado de Degradación Superficial.

Además el presente trabajo tuvo como objetivo principal establecer el estado de degradación superficial en un suelo zonal con diferentes años de uso.

## MATERIALES Y MÉTODO

El trabajo se desarrolló en un establecimiento ubicado en un área de la cuenca media del río Carcarañá, en las proximidades de la localidad de Los Molinos, provincia de Santa Fe (33° 02' 42" S y 61° 06' 08" W).

El sector en estudio pertenece a la Pampa Ondulada. Esta subregión de la Pampa Húmeda se extiende como una franja de un ancho variable entre 50 y 110 km, paralela al río

Paraná, limitando al sur con el río Matanzas, en el área suburbana de la ciudad de Buenos Aires, y al norte con el río Carcarañá.

Los suelos del área de trabajo corresponden a la serie Casilda, tanto el perfil modal, como sus fases por erosión hídrica. La serie ha sido taxonómicamente definida como Argiudol típico. Es un suelo oscuro, profundo y bien drenado, que ocupa los planos altos muy suavemente ondulados del noreste del Departamento Caseros, provincia de Santa Fe.

El estado de degradación superficial de los suelos estudiados se determinó a través de un índice - IEDS: Índice de Estado de Degradación Superficial - (Denoia, 2007), obtenido a través del análisis secuencial de una serie de propiedades físicas, químicas, fisicomecánicas, hidráulicas y de superficie de suelo, que se integraron a través de un procedimiento para su elaboración.

### **TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS Y DISEÑO ESTADÍSTICO**

El trabajo se desarrolló sobre un establecimiento de 300 ha., ubicado a 7 km al norte de la ruta nacional 92, y a 14 km de la localidad de Los Molinos, Santa Fe.

La actividad productiva del establecimiento hasta el momento de la toma de muestras fue la agricultura y los cultivos empleados soja, trigo – soja de segunda y maíz, siendo esta la secuencia empleada en la rotación.

En el sistema de producción objeto de estudio se determinaron sectores con diferentes años de uso, y esta situación fue utilizada para seleccionar los suelos que se emplearon en este trabajo.

La extracción de muestras de suelo se realizó de manera tal que quedaran representadas cuatro situaciones diferentes de uso:

1. Suelo virgen
2. 6 años de agricultura
3. 12 años de agricultura
4. 30 años de agricultura

Las muestras se tomaron de los primeros 10 centímetros del perfil de cada una de las situaciones. Parte de cada muestra se acondicionó para realizar determinaciones físicas y químicas y el resto se tamizó con un tamiz de 2 mm, empleándose el material que pasó a través del mismo para conformar las bandejas que recibirían la lluvia simulada.

Se utilizaron bandejas plásticas de 0,25 m de ancho, 0,4 m de largo y 0,12 m de profundidad. Dentro de cada bandeja se colocó la tierra ya tamizada, conformando un espesor de 0,05 m. El fondo de las bandejas se acondicionó con una capa de 0,02 m de arena y con perforaciones de 1 mm de diámetro, para facilitar el drenaje del agua excedente durante la realización del ensayo. Cada bandeja contó con un dispositivo para la captación del escurrimiento y los sedimentos.

De cada tratamiento se establecieron tres repeticiones, cada una de ellas representada por una bandeja.

### **PROPIEDADES EVALUADAS**

**Químicas:** para la determinación de las variables químicas se procedió a la toma de muestras compuestas en la profundidad de 0 – 10 cm. Los valores presentados en el capítulo de Resultados corresponden al promedio de tres determinaciones para cada propiedad.

En el caso del Nt se empleó para su determinación, el método de Kjeldhal (Bremmer and Mulvaney, 1982). Para obtener el porcentaje de materia orgánica total se usó el método de Walkey y Black (1934). El fósforo asimilable se midió empleando el método de Bray & Kurtz I (Kurtz & Bray, 1945).

**Físicas:** el índice de estabilidad estructural es considerado como indicadora del deterioro físico y de la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica (Benavidez, 1986; Orellana y Pilatti, 1993; Arzeno *et al.*, 2004;

Pagliai, 2004).

La determinación de la estabilidad estructural de cada situación de suelo estudiada se realizó empleando el pretratamiento al agua del Índice S de Henin (Henin *et al.*, 1972), para lo cual se tomaron diez (10) submuestras de los primeros diez (10) cm del perfil de cada situación, se secaron al aire y luego se tamizaron. Se seleccionaron los agregados de 0,2 a 2 mm que luego se humectaron con agua y posteriormente se tamizaron en húmedo utilizándose el aparato de Feodoroff, (Feodoroff, 1960, citado por Henin *et al.*, 1972). Por último se secaron los agregados remanentes y se calculó el porcentaje que permaneció estable luego del tamizado (Montico y Zerpa, 1993). Para cada muestra se realizaron tres repeticiones.

Hidráulicas: para generar las lluvias artificiales se empleó un simulador de lluvias portátil para parcelas pequeñas (1 m<sup>2</sup>) (Marelli y Arce, 1986), sobre el que se adaptó un sistema electrónico para el control de la intensidad de la lluvia aplicada. Las bandejas se colocaron en el simulador de lluvias en tandas de tres (correspondientes a las repeticiones de cada tratamiento), sobre un dispositivo que permitió generar un gradiente de pendiente de 1%, representativa de las que posee el paisaje de la zona.

La lluvia fue de una intensidad de 60 mm.h<sup>-1</sup> y de una duración de treinta minutos.

El tiempo de inicio de escurrimiento se determinó a partir de la observación del momento en que se registró aporte de agua de escurrimiento en los dispositivos colectores ubicados en cada bandeja.

Una graduación en los colectores permitió registrar el volumen escurrido durante la lluvia simulada. Se realizó una lectura cada cinco minutos. Siendo conocido el volumen de agua aplicado en el total de la lluvia, el escurrimiento se calculó como porcentaje de ese total. La producción de sedimentos se

midió a los quince minutos de lluvia cambiando el dispositivo colector y al finalizar la misma.

Resistencia a la penetración: sobre cada bandeja, una vez oreadas – 8% de humedad (+ - 1%) –, se midió resistencia a la penetración (RP) empleando un penetrómetro de cono, diseñado para trabajar sobre los primeros milímetros del perfil (Denoia 2008).

Las lecturas de RP se realizaron cada 3,2 mm de profundidad y hasta una profundidad total de 16,5 mm. La sumatoria de las RP obtenidas en cada profundidad se consideró como la resistencia a la penetración acumulada (RPA). A través del promedio de las repeticiones de RP realizadas en las bandejas se obtuvo el Índice de Cono Acumulado (ICA) de cada tratamiento. Para cada tratamiento se realizaron dieciocho repeticiones (seis por cada una de las tres bandejas que integraban un tratamiento).

Densidad aparente en terrones: se empleó el método de desplazamiento volumétrico (Fies *et al.*, 1972), para lo cual se seleccionaron diez terrones de cada bandeja, una vez finalizada la determinación de penetrometría. Estos terrones, previamente refrigerados, se embebieron en parafina en estado líquido. Se determinó el peso de cada terrón, antes y después de ser cubiertos con parafina. Luego se sumergió el terrón en un recipiente con agua ubicado sobre una balanza. Se determinó así el volumen total desplazado, del cual se restó el de la parafina (se conoce su peso y su densidad) y se obtuvo el volumen del terrón. Con estos datos (peso y volumen del terrón) se calculó su densidad aparente.

Tipos de estructuras presentes en terrones: se trabajó sobre tres terrones extraídos de las bandejas sometidas a lluvias artificiales, a partir de la división manual de la muestra, intentando seguir los planos de corte espontáneos al esfuerzo. Cada uno de los

terrones se acondicionó sobre un fondo de color blanco para ser fotografiado desde una distancia constante de 13 centímetros con una cámara digital, obteniendo una imagen detallada de uno de los laterales. Para la edición de las imágenes se empleó el programa Microsoft Office Picture Manager (2003) y sobre ellas identificó y delimitó las unidades estructurales. Las unidades consideradas fueron cuatro: masiva y laminar, señaladas como estructuras no favorables (ENF) y migajosa y granular, consideradas estructuras favorables (EF).

El cálculo del porcentaje de la superficie observada ocupado por cada unidad se resolvió a través del empleo del programa Corel Photo-Paint 10 (2000) Versión 10.410.

Clases de agregados que componen a los terrones: en cada terrón seleccionado para el estudio de estructuras se analizó un sector lateral por medio de una lupa marca CETI, modelo SONAR, empleando una distancia de trabajo de entre 110 mm y 130 mm, en función de la obtención de la máxima definición de imagen, y un aumento de 15 X. Cada terrón se acondicionó alisando su cara posterior, ubicándolo luego sobre el portaobjetos. Una vez logrado el enfoque con la lupa, colocando el objetivo de una cámara digital sobre la lente de la lupa, se fotografió la cara expuesta del terrón. La fotografía se editó a través del programa Microsoft Office Picture Manager (2003), transformándola luego en archivo de Word. Sobre las imágenes logradas se construyó una grilla de 2 cm de lado, determinando en cada una la presencia de agregados observables, estableciéndose tres clases según su tamaño: Clase I: agregados < a 1mm, Clase II: agregados entre 1 y 3 mm, y Clase III: agregados > a 3 mm. En cada celda de la grilla se estableció la proporción de clases de agregados. El resultado final se obtuvo sumando los valores de cada grilla.

#### Determinación del IEDS

Una serie de indicadores fueron agregados en un Índice de Estado de Degradación Superficial, permitiendo ordenar la información obtenida en cada tipo de suelo y evaluar su condición respecto al estado de degradación, definido a través de las variables estudiadas. Los indicadores se obtuvieron de cada propiedad estudiada, a partir de métodos seleccionados por su facilidad de aplicación, bajo costo y precisión.

Construcción de los indicadores: de acuerdo al efecto previsto de los indicadores sobre el estado de degradación del suelo, se establecieron dos alternativas; la primera que el indicador en su valor máximo correspondiese a la mejor situación favorable a la calidad del suelo, en este caso el valor del indicador ( $V_i$ ) será 1. La segunda alternativa, que el valor máximo del indicador se relacionase con la peor situación de calidad del suelo, siendo cero el valor del indicador ( $V_i$ ). Para el primer caso el cálculo del valor del indicador fue:  $V_i = I_m - I_{min}/I_{max} - I_{min}$ , y para la segunda situación:  $V_i = 1 - (I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min})$ , donde  $V_i$ : valor del indicador,  $I_m$ : valor medido del indicador,  $I_{min}$ : valor mínimo del indicador,  $I_{max}$ : valor máximo del indicador. Los valores de los indicadores calculados se integran en una tabla a los fines de facilitar su análisis y de permitir el cálculo del IEDS:

Elaboración del IEDS: para cada situación de suelo estudiada se estableció un Índice de Estado de Degradación Superficial, adaptado de Cantú (2002), promediando de los valores obtenidos en cada uno de los indicadores ( $V_i$ ); es decir que para cada tratamiento o situación estudiada existirá un valor del IEDS definido por el conjunto de variables representadas por los indicadores y que se corresponde con un nivel de degradación específico. Por último, para clasificar a cada historia de uso del suelo según su estado de degradación, se establecieron cua-

tro categorías en función del valor del IEDS obtenido.

Categoría A: degradación alta. Rango del IEDS: 0–0,24

Categoría B: degradación media. Rango del IEDS: 0,25–0,49

Categoría C: degradación baja. Rango del IEDS: 0,50–0,74

Categoría D: degradación muy baja. Rango del IEDS: 0,75–1

## RESULTADOS

Dentro de las propiedades de orden químico, para establecer el estado de degradación superficial de los suelos estudiados, se determinó el porcentaje de materia orgánica y de nitrógeno total y la cantidad de fósforo disponible en los primeros 10 cm del perfil, como así también la estabilidad de agregados al agua. Como se observa en el Cuadro 1, en el suelo con treinta años de uso agrícola, se verificó en el contenido de materia orgánica (MO), un descenso del 47,7 %, 40,8 % y 15,9% para los tratamientos 30, 12 y 6 años de agricultura respectivamente. Estos resultados coinciden con lo referido por Quiroga y col, (1999), quién plantea que durante los primeros veinte a treinta años de uso agrícola se produciría en el suelo un descenso en el contenido de MO, para luego estabilizarse en valores muy bajos y con Aparicio y Costa (2008) en un trabajo donde se analiza la evolución de algunos indicadores en suelos que son incorporados a la actividad agrícola luego de un uso ganadero prolongado. Respecto a la estabilidad de agregados al agua, también se determinó un descenso importante en relación a la cantidad de años de uso agrícola., llegando a una baja de 38 puntos porcentuales en el tratamiento con 30 años de agricultura, aun-

que también es destacable el rápido deterioro observado en los primeros 6 años (18 puntos porcentuales) resultados coincidentes con Michelena *et al.* (1986), quienes trabajaron con situaciones de uso del suelo similares a las planteadas en este trabajo pero a una escala regional y con sistemas de producción donde el empleo de la siembra directa era aún incipiente.

El contenido de MO del suelo se correlacionó fuertemente ( $R^2$  0,89), con el porcentaje de agregados estables al agua, en coincidencia con lo obtenido por Cantón y col, 2009, al analizar la vinculación entre la estabilidad de los agregados del suelo y el contenido de MO, la tasa de erosión hídrica y el escurrimiento superficial.

Respecto al porcentaje de nitrógeno existieron diferencias significativas ( $p= 0,05$ ) entre el tratamiento 0 años y el resto, indicando un avance en el proceso de deterioro en los suelos con uso agrícola, correspondiéndose con numerosos autores que señalan como indicador de la calidad del suelo a este macronutriente, (Chen *et al.*, 1999; Murage *et al.*, 2000 y Pervanchon *et al.*, 2005). La tendencia observada fue similar al caso de la MO, aunque entre 6 y 12 años las diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p= 0,05$ ).

El fósforo disponible disminuyó en relación al suelo virgen un 34,6 %, 53,9 % y 76,7 % transcurridos 6, 12 y 30 años de uso agrícola respectivamente, lo que se corresponde con lo hallado por Michelena *et al.* (1986).

En relación a las propiedades hidráulicas consideradas, el tratamiento 0 años generó un escurrimiento total significativamente menor que el resto, además de haber iniciado el movimiento de agua superficial recién a los 12 minutos de comenzada la lluvia simulada y de haberse mantenido en toda la duración de la lluvia como el tratamiento de menor escurrimiento superficial (Fig. 1). Se-

Cuadro 1: Propiedades químicas y estabilidad de agregados al agua en suelos con diferentes años de uso agrícola.

Variables	Tratamientos			
	0 años	6 años	12 años	30 años
Materia Orgánica (%)	3,77 c	3,17 b	2,23 a	1,97 a
N Total (%)	0,187 c	0,148 b	0,128 b	0,092 a
% AEA	46,17 d	28,23 c	18,47 b	8,2 a
P asimilable (%)	26,2 d	17,13 c	12,07 b	6,1 a

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas según Tukey ( $p = 0,05$ ). Referencias: AEA= agregados estables al agua. P= fósforo

Cuadro 2: Esguerrimiento superficial al final de la lluvia simulada, tiempo de inicio del esguerrimiento y producción de sedimentos a los 15 y 30 minutos de iniciada la lluvia

Variables	Tratamientos			
	0 años	6 años	12 años	30 años
Esguerrimiento (ml)	656,7 a	1073,3 b	1176,7 b	1350 b
TIE (min)	12 b	8 a	7,7 a	6 a
PS 15 (tn.ha <sup>-1</sup> )	0,113 a	0,16 ab	0,517 bc	0,673 c
PS 30 (tn.ha <sup>-1</sup> )	0,267 a	0,47 ab	1,1 bc	1,61 c

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas según Tukey ( $p = 0,05$ ).

Referencias: ml = mililitros. TIE (min)= tiempo de inicio del esguerrimiento (minutos). PS 15 = producción de sedimentos a los 15 minutos de lluvia. PS 30 = producción de sedimentos a los 30 minutos de lluvia

gún lo planteado por Rhoton *et al.* (2002), en un trabajo a largo plazo donde se evaluaron los efectos de sistemas de labranzas sobre algunas propiedades de los suelos, el mayor contenido de MO podría ser la explicación de este comportamiento diferencial en el suelo virgen. En este sentido también es coincidente con los resultados lo planteado por Bajracharya y Ral (1999), quienes hallaron que en los casos en que se demoraba el proceso de encostramiento de la superficie, el tiempo a partir del cual se registraba el esguerrimiento era significativamente mayor. Los autores vincularon la estabilidad de agregados al agua con la velocidad en la formación de la costra, y el consecuente inicio del

esguerrimiento.

La producción de sedimentos siguió una tendencia similar a los 15 y a los 30 minutos (Cuadro 2), registrándose las menores pérdidas en el suelo virgen, aunque las diferencias no fueron significativas estadísticamente con el tratamiento 6 años. Los mayores valores de producción de sedimento se registraron en el tratamiento 30 años.

En coincidencia con Barthés y Roose, 2002 y Cantón *et al.*, 2009, se pudo observar que en los tratamientos con mayor proporción de agregados estables al agua (0 y 6 años), la pérdida de suelos fue menor, posiblemente asociada a una menor susceptibilidad al encostramiento y por lo tanto a la pro-

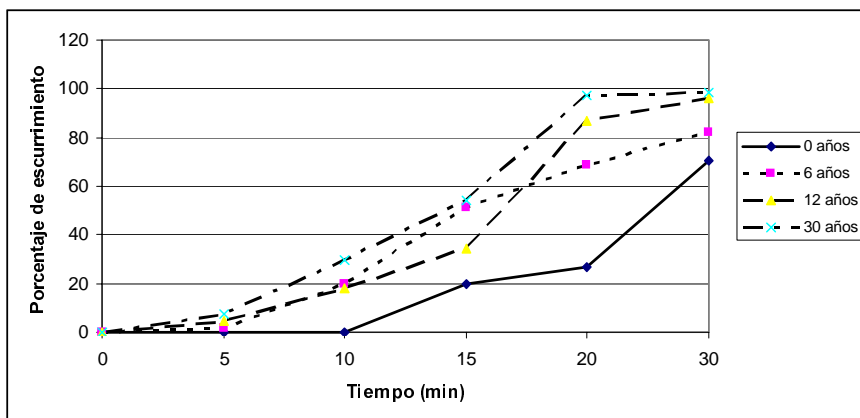


Fig. 1: Evolución del escurrimiento superficial en suelos con diferentes años de uso durante la lluvia simulada.

Cuadro 3: Índice de Cono Acumulado en costras generadas por lluvias simuladas

Tratamientos	Índice de Cono Acumulado (kg/cm <sup>2</sup> )
0 años	0,86 a
6 años	0,95 a
12 años	1,47 a
30 años	1,5 a

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas según Tukey ( $p = 0,05$ ).

ducción de escurrimiento superficial.

El índice de cono acumulado (ICA) no difirió significativamente entre tratamientos (Cuadro 3), aunque los valores alcanzados en los tratamientos de 12 y 30 años de agricultura se encuentran dentro del entorno de resistencias a la penetración en costras, a partir de las cuales la emergencia de plántulas no se produce (Daba, S., 1999), mientras que los tratamientos 0 y 6 años estarían por debajo de los valores considerados críticos.

La densidad aparente en terrones expresa la compactación ocurrida en los suelos estudiados, por efecto de la lluvia artificial. En

combinación con los datos de IC, puede dar una idea del grado de compactación presente en el suelo. Según lo señalado en el Cuadro 4, existen diferencias significativas ( $p = 0,05$ ) entre todos los tratamientos, siendo los más compactados por la energía cinética de la lluvia aplicada, los de mayor cantidad de años de uso agrícola, comportamiento que podría ser explicado por la menor estabilidad de agregados al agua mostrada en el Cuadro 1.

Una tendencia similar a la señalada en el párrafo anterior puede observarse en la distribución de tipos de estructuras (Cuadro 5). El tratamiento 0 años que registra la menor densidad aparente es el que posee mayor



proporción de estructuras favorables. En el tratamiento 6 años también predominan las estructuras favorables, lo que estaría generando condiciones apropiadas para el intercambio de agua y gases con la atmósfera, otorgando al espesor de muestra analizado condiciones más alejadas de un estado de degradación.

En los tratamientos 12 y 30 años de agricultura, la mayor parte de la superficie observada está ocupada por estructuras consideradas no favorables, asociadas a la ausencia de poros identificables y a la presencia de abundante material fino, las que estarían contribuyendo a la generación de excedentes hídricos superficiales.

En relación a las clases de agregados, puede observarse en el cuadro 6 que únicamente en el tratamiento 0 años de agricultura existe una proporción importante de agregados mayores a 3 mm. Este tratamiento posee la menor proporción de agregados pequeños (< 1 mm), aunque no existen diferencias estadísticamente significativas con respecto al tratamiento 6 años. En los suelos con 12 y 30 años de agricultura aumenta la proporción de agregados menores a 1 mm, existiendo diferencias significativas entre 30 años y el resto de los tratamientos. En cuanto a los agregados de Clase II no existieron

diferencias entre tratamientos.

De la combinación de los indicadores seleccionados se obtuvo el índice de estado de degradación estructural. Según se puede observar en el cuadro 7, en los suelos con mayor cantidad de años en agricultura el IEDS es mayor, aún en el tratamiento de 6 años, lo que estaría reflejando un rápido deterioro en el estrato superficial del suelo y particularmente en propiedades como MO, estabilidad de agregados al agua, fósforo disponible, nitrógeno total, escurrimiento superficial y densidad aparente en terrones.

El descenso en el valor del IEDS es de 0,4 a 0,5 puntos por año para los tratamientos de 6 y 12 años respectivamente, mientras que para 30 años la disminución es de 0,26 puntos por año, lo que estaría indicando que la tasa de deterioro es más alta en los primeros años de iniciada la actividad agrícola.

Los valores de IEDS obtenidos permitieron clasificar a los tratamientos en clases por calidad (Cuadro 8), correspondiendo a cada situación analizada una categoría diferente. El suelo con 6 años de agricultura alcanzó un valor del IEDS que implicó un descenso de una categoría, a pesar de que el sistema de labranzas empleado implica la no remoción del suelo y que la rotación incluye dos gramíneas en un módulo de tres años.

*Cuadro 4: Densidad aparente en terrones extraídos de costras superficiales generadas por lluvias simuladas*

Tratamientos	Densidad aparente terrones
0 años	1,07 a
6 años	1,51 b
12 años	1,58 c
30 años	1,87 d

*Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas según Tukey ( $p = 0,05$ ).*

Cuadro 5: Tipos de estructuras presentes en terrones luego de la lluvia simulada.

Tratamientos	Estructuras	Pixeles	Valor relativo (%)	Proporción ENF – EF
0 años	Masiva	17082	29	ENF
	Laminar	0	0	29
	Migajosa	21616	36,7	EF
	Granular	20202	34,3	71
	Totales	58900	100	
6 años	Masiva	14888	23	ENF
	Laminar	0	0	23
	Migajosa	5372	8,3	EF
	Granular	44469	68,7	77
	Totales	64730	100	
12 años	Masiva	40049	53,8	ENF
	Laminar	0	0	53,8
	Migajosa	34391	46,2	EF
	Granular	0	0	46,2
	Totales	74400	100	
30 años	Masiva	29963	43,5	ENF
	Laminar	12192	17,7	61,2
	Migajosa	26725	38,8	EF
	Granular	0	0	38,8
	Totales	68880	100	

Referencias: ENF: estructuras no favorables- EF: estructuras favorables

Cuadro 6: Distribución porcentual de las clases de agregados presentes en terrones

Tratamiento	Proporción de clases de agregados (%)		
	Clase I	Clase II	Clase III
0 años	48 a	25 a	27 c
6 años	55 ab	34 a	11 b
12 años	59 b	35 a	6 ab
30 años	74 c	26 a	0 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según Tukey ( $p= 0,05$ ).

## CONCLUSIONES

Desde los primeros años de uso agrícola, el suelo analizado se degradó superficialmente, siendo este proceso lo suficientemente importante como para generar un cambio en la categoría por calidad del suelo en seis años (calidad D a calidad C).

Propiedades de origen químico, físico e hidráulico fueron afectadas negativamente por el uso agrícola.

El método empleado evidenció el proceso de degradación superficial ocurrido por el uso agrícola, ubicando a los tratamientos empleados en categorías de calidad de suelo diferentes.

Cuadro 7: Determinación del Índice de estado de Degradación Superficial

Indicadores			0 AÑOS		6 AÑOS		12 AÑOS		30 AÑOS	
	I máx	I mín	Im	Vi	Im	Vi	Im	Vi	Im	Vi
MO %	3,8	1,8	3,8	1	3,17	0,685	2,23	0,215	1,97	0,085
Nt (%)	0,192	0,09	0,187	0,95	0,148	0,57	0,128	0,37	0,092	0,02
AEA (%)	47,8	7,8	46,17	0,96	28,23	0,51	18,47	0,27	8,12	0,01
P (ppm)	27,1	4,2	26,2	0,96	17,13	0,56	12,07	0,34	6,1	0,08
ES (%)	1440	510	656	0,84	1073	0,39	1177	0,28	1350	0,10
TIE (min)	14	5	12	0,78	7,7	0,30	8	0,33	6	0,11
PS 15 tn.ha <sup>-1</sup>	0,75	0	0,113	0,85	0,16	0,79	0,517	0,31	0,673	0,10
PS 30 tn.ha <sup>-1</sup>	1,92	0	0,267	0,86	0,47	0,76	1,1	0,43	1,607	0,16
ICA gr.cm <sup>-2</sup>	2,05	0,76	0,86	0,92	0,95	0,85	1,47	0,45	1,5	0,43
DAT gr.cm <sup>-3</sup>	1,98	0,98	1,07	0,91	1,31	0,67	1,58	0,40	1,87	0,11
Tipos Est (%)	61,2	23	29	0,84	23	1,00	53,8	0,19	61,2	0,00
Agr 1. (%)	80	44	47,7	0,90	54,7	0,70	59,3	0,58	73,7	0,18
<b>IEDS</b>				<b>0,90</b>		<b>0,65</b>		<b>0,35</b>		<b>0,12</b>

Referencias: MO= materia orgánica. Nt= nitrógeno total. AEA= agregados estables al agua. P= fósforo asimilable. ES= Escurrimiento superficial. TIE= tiempo de inicio del escurrimiento. PS 15= producción de sedimentos a los 15 minutos. PS 30= producción de sedimentos a los 30 minutos. ICA= índice de cono acumulado. DAT= densidad aparente en terrones. Tipos Est.= tipos de estructuras presentes en terrones. Agr. 1= agregados clase I. IEDS= Índice de Estado de Degradación Superficial.

Cuadro 8: Categorías de calidad de suelos obtenidas a partir del IEDS

Tratamientos	Valores del IEDS	Calidad
0 años	0,90	D
6 años	0,65	C
12 años	0,35	B
30 años	0,12	A

Referencias: IEDS= Índice de Estado de Degradación Superficial.

## BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO, V. & J. L. COSTA.** 2008. Evolución de algunos indicadores de calidad de suelo en el sudeste de la región pampeana. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luís, Argentina.
- ARZENO, J. L., E. CORVALAN, D. HUIDOBRO & P. ARIAS.** 2004. Evaluación del impacto de la agricultura orgánica, usando indicadores físicos de calidad de suelos. En Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná. Ed. digital. 8 p.
- BAJRACHARYA R.M. AND R. LAL.** 1999. Land use effects on soil crusting and hydraulic response of surface crust on a tropical Alfisol. *Hydrol. Process.* 13:59-72
- BARTHÉS, B. AND E. ROOSE.** 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena* 47:133-149.
- BENAVIDEZ, R.** 1986. El problema metodológico en la evaluación de las propiedades físicas de los suelos. (Relato). En Actas del XI Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo. Neuquén. pp 3-6.
- BREMMER, J. M. & C. MULVANEY.** 1982. Nitrogen total. En *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, A.L. Page et al. Eds, American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, pp 595-624.
- CANTÓN, Y.; A. SOLÉ-BENET; C. ASENSIO; S. CHAMIZO & J. PUIGDEFÁBREGAS.** 2009. Agregate stability range sandy loam soils. Relationships with runoff and erosion. *Catena*. In Press.
- CANTÚ, M., A. BECKER, J. BEDANO, T. MUSSO & H. SCHIAVO.** 2002. Evaluación de la calidad ambiental y calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn. Provincia de Chubut. Argentina.
- CHEN, W., G. BLAIR, J. SCOTT & R. LEFROY.** 1999. Nitrogen and sulfur dynamics of contrasting grazed pastures. *Aust. Journal Agric. Res.* 50:1381-1392.
- DABA, S.** 1999. Note on effects of soil surface crust on the grain yield of sorghum (*Sorghum bicolor*) in the Sahel. *Field Crops Research.* 61:193-199.
- DENOIA, J.** 2007. Degradación superficial en suelos erosionados. Desarrollo de una metodología para su desarrollo. Tesis Maestría en Manejo y Conservación de Recursos Naturales. Escuela de Postgrado. Facultad de Ciencias Agrarias. UNR. Inédito.
- DENOIA, J. & GIUBILEO G.** 2008. Penetrómetro para el estudio de costras de suelo en laboratorio. *Ciencia, Docencia y Tecnología . UNER.* 37:191-204.
- FIES, G., HENIN, S. & MONNIER, G.** 1972. Etude de quelques lois réegissant la porosité des materiaux meubles. *Annales Agronomiques.* 23 (6): 621- 653.
- GALLOPIN, G.** 1997. Indicators and their use information for decision making. Part I. Introduction. En: *Sustainability indicators*, eds. B. Moldan and Billharz. Wiley, Chichester-N. York
- HENIN, S., R. GRASS & G. MONNIER.** 1972. El perfil cultural, el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Ed. Mundi Prensa. Madrid. 342 p.
- KURTZ, LT & RH BRAY.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- MARELLI, H.; ARCE, J.** 1986. Simulador de lluvias para investigación básica en conservación de su elos. Publicación técnica N° 8. Serie: Suelos y Agroclimatología. INTA E.E.A. Marcos Juárez, Córdoba.
- MICHELENA, R. O., C. IRURTIA, F. VAVRUSKA, R., MON & A. PITTALUGA.** 1986. Degradación de los suelos en el sector norte de la Región Pampeana. Pub. Técnica 6. PAC. INTA. 132 pp.

- MICHELENA, R. O., H. MORRAS & C. IRURTIA.** 1996. Degradación física por agricultura continua de un suelo franco limoso de la provincia de Córdoba. En XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. La Pampa. 25-26 pp.
- MICHELOUD, H., S. GAMBAUDO & O. ZEN.** 2001. Recuperación de suelos degradados mediante el manejo del rodeo lechero. *Información Agronómica*. N° 9: 7-11.
- MONTICO, S.** 2004. El manejo de agua en el sector rural de la región Pampeana argentina. *Revista Theomai*. Número especial (invierno 2004) Ed. digital en [www.revista-theomai.unq.edu.ar](http://www.revista-theomai.unq.edu.ar) 12 p.
- MONTICO, S. & G. ZERPA.** 1993. Caracterización de costras superficiales de suelo. Trabajo inédito, 10 p. Resumen publicado en *Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mendoza. pp. 23-24.
- MURAGE, E. W., N. KARANJA, P. SMITHSON & P. WOOPER.** 2000. Diagnostic indicators of soil quality in productive and non productive smallholder's fields of Kenia central highlands. *Agriculture, Ecosystems & Environments*. 79 (1): 1-8.
- ORELLANA, J. A. DE & M. A. PILATTI.** 1993. Posibles indicadores edáficos de estabilidad: I. La estabilidad de agregados. En *Actas del XIV Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo*. Mendoza. pp 19-20.
- PAGLIAI, M., N. VIGNOZZI & S. PELLEGRINI.** 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil & Tillage Research*. 79 (2): 131-143.
- PERVANCHON, F., C. BOCKSTALLER, B. AMIAUD & J. PEIGNÉ.** 2005. A novel indicators of environmental risk due to nitrogen management on grassland. *Agriculture, Ecosystem & Environment*. 105 (1-2): 1-16.
- QUIROGA, A., D. FERNÁNDEZ, O. ORMENIO & J. VENTURA.** 1999. Efectos del manejo (rotación –agricultura) sobre los contenidos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en suelos de la región semiárida pampeana. *Boletín de Divulgación Técnica* N° 61. EEA Anguil. INTA.
- RHOTON, F.E., M.J. SHIPITALO & D.L. LINDBO.** 2002. Runoff and soil loss from Midwestern and southeastern US silt loam soils as affected by tillage practice and soil organic matter content. *Soil & Tillage Research*. 66:1-11.
- SIX, J., E. ELLIOTT & K. PAUSTIAN.** 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and not tillage systems. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 63:1350-1358.
- TABOADA, M.** 1998. Compactación superficial causada por la siembra directa, y regeneración estructural en suelos franco limosos pampeanos. *Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. V. Carlos Paz. Córdoba. Argentina. 361-374.
- WALKLEY A. & I.A. BLACK.** 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. *Soil Science* 34:29-38.