



Impacto de la erosión hídrica en la producción de granos en un argiudol típico de la Pampa Ondulada

por [Carlos B. Irurtia](#) y [Rodolfo Mon](#) (Técnicos del Instituto de Suelos)

Resumen

Los suelos afectados por degradación y erosión generalmente disminuyen su capacidad productiva. Durante el período 1990-1994 se realizó un muestreo de suelos y cultivos que abarcó a 184 sitios, en campos de productores agrícolas. El área de trabajo corresponde a un amplio sector afectado por erosión hídrica en las proximidades de las localidades de Arrecifes, Salto y Pergamino. En cada sitio de observación se midió el rendimiento mediante la cosecha manual de parcelas de 10 m² y se realizó un muestreo de suelos para establecer parámetros edáficos de erosión y degradación. Los parámetros se correlacionaron con los rendimientos para obtener ecuaciones de regresión simple y múltiple.

Los resultados muestran que los parámetros que mejor se correlacionan con los rendimientos son la profundidad al horizonte B2t, los contenidos de materia orgánica y fósforo asimilable y la tasa de erosión actual.

Para soja se establecieron las siguientes ecuaciones de regresión significativas:

$$Y = 1211,2 + 41,0.p + 115,4.mo + 17,8.fos \quad r=0,70 \quad \text{año 1990}$$

$$Y = 1724,1 + 71,1.p - 21,8.Ea \quad r=0,54 \quad \text{año 1991}$$

$$Y = 699,1 + 35,6.p + 51,9.fos + 253,3.mo \quad r=0,68 \quad \text{año 1992}$$

$$Y = 1648,6 + 26,8.p + 52,0.mo - 17,6.Ea \quad r=0,60 \quad \text{año 1993}$$

$$Y = 258,7 + 74,1.p + 32,3.fos \quad r=0,79 \quad \text{año 1994}$$

Para trigo:

$$Y = 3232,4 - 26,8.Ea \quad r=0,60 \quad \text{año 1991}$$

$$Y = 895,0 + 210,7.mo + 31,6.fos \quad r=0,53 \quad \text{año 1993}$$

$$Y = 954,7 + 79,5.p + 2,5.mo - 14,4.Ea \quad r=0,68 \quad \text{año 1994}$$

Para maíz:

$$Y = 1071,1 + 180,8.p + 340,6.mo \quad r=0,70 \quad \text{año 1994}$$

$$Y = 1869,5 + 162,0.p + 7,5.MO \quad r=0,69 \quad \text{año 1994}$$

$$Y = 2586,4 + 28,4.MO + 48,4.FOS \quad r=0,64 \quad \text{año 1994}$$

donde:

Y: Rendimiento en kg/ha.

p: Profundidad de la capa superior del suelo en centímetros, desde la superficie hasta la cabeza del horizonte B2t. Se asume que la disminución del espesor de "p" con respecto al perfil modal, se debe principalmente a la erosión hídrica.

mo: contenido de materia orgánica en %

MO: contenido de materia orgánica en t/ha.

fos: contenido de fósforo asimilable en ppm

FOS: contenido de fósforo asimilable en kg/ha.

Ea: tasa estimada de erosión hídrica actual, en t/ha/año, por USLE (Wischmeier,1978).

Utilizando estas ecuaciones se estimaron los rendimientos de soja trigo y maíz en un Argiudol típico afectado por diferentes grados de erosión. El maíz fue, el cultivo más sensible a la erosión y el trigo el menos sensible. La fase severa de erosión, ocasiona una reducción de los rendimientos de soja, trigo y maíz de 36, 30 y 44 por ciento respectivamente, con respecto a la situación sin erosión.

Tabla de contenido

[\[Introducción\]](#) [\[Materiales y métodos\]](#) [\[Resultados\]](#) [\[Discusión\]](#) [\[Conclusiones\]](#) [\[Referencias\]](#)

Introducción

La degradación del suelo modifica sus características y propiedades disminuyendo su capacidad productiva. En gran medida esa declinación es enmascarada por los avances tecnológicos, que tienden a incrementar los rendimientos.

No obstante cuando la erosión excede a la tasa de formación de suelo, la capa de suelo superficial comienza a adelgazarse y partes del subsuelo son incorporados a la capa arable del perfil.

Este proceso es acompañado, por lo general, por disminución de nutrientes y de materia orgánica, mayor compactación, disminución de la aeración, y por otros fenómenos relacionados.

El agregado de fertilizantes puede compensar la pérdida de nutrientes pero el deterioro físico del suelo es muy difícil de restablecer.

Stocking y Peake definen al término productividad como una medida del potencial del suelo para acumular energía, evaluada durante un prolongado período de años, excluyendo aquellos años en los cuales se presentan bajas producciones debidas a fenómenos de corto plazo, como plagas , sequías etc.

El rendimiento es una útil aproximación a la productividad por la ventaja que presenta de ser fácilmente medido y cuantificarse en términos económicos. Lógicamente el promedio de varios años será más representativo de la productividad de un suelo que el valor de un solo año.

En Estados Unidos en la década del 80 se realizaron muchas investigaciones con el objeto de conocer la relación entre la erosión y los rendimientos.

Brown y Wolf, 1984, trabajando en Iowa encontraron que el maíz cultivado en forma continua en suelos que habían perdido la capa superficial, rendía solamente el 20 % de lo obtenido en los testigos sin erosión, en Missouri el rendimiento alcanzaba solo al 47 por ciento.

Leon Lyles, comparó 14 estudios independientes, la mayoría del cinturón maicero estadounidense y resumió los efectos de la erosión en una expresión que establecía la pérdida de rendimiento por pulgada de suelo perdido. Esta investigación concluyó que esa pérdida de suelo reducía los rendimientos de maíz de 3 a 6,1 bushels por acre. (159 a 324 kg/ha),.

En porcentaje la pérdida de una pulgada de suelo reducía los rendimientos de 4,3 a 8,0 por ciento. En trigo la pérdida de una pulgada de suelo ocasionaba una disminución del rendimiento de 0,5 a 2,5 bushels o un 6 por ciento en términos relativos.

White et al.(1985) informaron que los suelos pedemontanos severamente erosionados de del sur de los Estados Unidos, producían solo el 50 % de lo que producían los suelos no erosionados.

Krauss y Almaras (1982) establecieron que la pérdida de 13 cm de suelo disminuía

los rendimientos de trigo en un 50 por ciento.

Papendick et al.(1985) encontraron regresiones lineares y curvilíneas entre el rendimiento de trigo y el espesor del suelo superficial. No obstante, Bruce et al. (1987) y Daniels et al. (1987) sugieren que no es recomendable estimar el efecto de la erosión en el rendimiento de los cultivos, a partir de un solo parámetro, como la profundidad del suelo.

El efecto declinante de la productividad de un suelo está marcando que el sistema productivo no es sostenible. En este sentido señalan que por el seguimiento de varios indicadores se puede establecer con mayor precisión qué, pasa con la sostenibilidad del sistema productivo. Entre ellos se señalan al contenido de materia orgánica, la profundidad, la tasa de erosión y también a indicadores económicos.

Carter (1985), estableció que el rendimiento de los cultivos es severamente afectado cuando se mezcla el suelo superficial con el subsuelo, también indica que el espesor mínimo de suelo para obtener un rendimiento máximo oscila entre 38 y 40 cm. Cuando el espesor es menor de 38 cm la producción disminuye en forma notable.

Los factores responsables de esta reducción no se conocen con certeza, la reposición de nutrientes y agua en suelos erosionados no restablece la pérdida de rendimiento, esto solo se logra mediante el agregado de una cantidad de suelo equivalente al suelo perdido. Las evidencias indican que la pérdida de suelo superficial conduce a serias disminuciones de los rendimientos, se asume que principalmente ello se debe a que el subsuelo generalmente es menos productivo que el suelo superficial.

Pierre Crosson, 1984, en un estudio que abarcó gran parte del cinturón maicero de Estados Unidos, estableció ecuaciones de regresión significativas, entre el rendimiento y el valor de la tasa de erosión actual (E_a), estimada según la Ecuación Universal de Predicción de Pérdidas de Suelo (R.K.L.S.C.P), en maíz y en soja.

Cuando la erosión excedía la tasa tolerable de 11,2 t/ha/año las ecuaciones eran significativas y los coeficientes de regresión eran negativos, mientras que, en los condados con bajas tasas de erosión o en los que predominaba el trigo, las regresiones no eran significativas o presentaban inesperados signos positivos.

Williams y colaboradores 1990, elaboraron un modelo matemático en el que intervienen múltiples factores, edáficos, físicos, químicos y económicos, para Calcular el Impacto de la Erosión en la Productividad del suelo, (EPIC). El modelo se alimenta con datos de clima, suelo, manejo y algunos parámetros económicos. Es capaz de predecir rendimientos y tasas de erosión para un año determinado o para una serie de cientos de años.

Este modelo fue utilizado en varios países y también en la Argentina, con el objeto de evaluar el impacto de la erosión en la productividad del suelo, Díaz, R., 1994 y M. Flores, 1997. En 1988 Lal, R. establece, para suelos Alfisoles de Africa, que los dos efectos más importantes de la erosión sobre el suelo, son la degradación física y la pérdida de nutrientes y materia orgánica. Siguiendo estos criterios, estableció para maíz, la siguiente ecuación de regresión múltiple.

$$Y = 1,79 - 0,007(E) + 0,70(CO) + 0,07(PO) + 0,002(INF) \quad r=0,9$$

donde

Y: rendimiento de maíz en t/ha
E: pérdida de suelo acumulada en t/ha
CO: carbono orgánico en %
PO: porosidad total en %
INF: capacidad de infiltración en cm/h.

La pérdida de suelo, afecta la capacidad productiva de dos maneras; por un lado disminuye su contenido en nutrientes y por el otro deteriora su estructura (degradación química y física). Esto frecuentemente conduce a incrementos en los costos de producción, por la sustitución energética que significa el incremento de fertilizantes o la implementación del riego, para compensar la pérdida de propiedades físicas y químicas del suelo (Larson,W.,1984).

En la Argentina Musto, J.C.(1979) estableció mediante encuestas, que la erosión

reducía los rendimientos de maíz y trigo en un 10 % cuando la erosión era leve y en 30 y 60%, cuando era moderada y severa.

En 1982 Berón, R. y E. Lemos estudiaron la incidencia de la erosión hídrica sobre los rendimientos en suelos de las serie Arroyo Dulce. Los rendimientos de trigo en las fases sin erosión o ligeramente erosionados fueron de 3020 kg/ha, en los moderadamente erosionados de 2600 kg/ha y en los severamente erosionados de 2050 kg/ha.

En 1986 Apezteguía y otros estudiaron la disminución de los rendimientos de soja debidos a la erosión hídrica en suelos Hapludoles de la región semiárida central de Córdoba, estableció que por cada centímetro de suelo perdido el rendimiento de soja disminuye 35,5 kg/ha.

En 1994 R. Díaz, utilizando el modelo EPIC, estimó las pérdidas de rendimiento de maíz en función de la disminución del espesor de suelo comprendido entre la superficie y el horizonte arcilloso B2t, en las series Arrecifes y Arroyo Dulce. Obtuvo una pérdida de rendimiento de 229 kg/ha por cada centímetro de suelo perdido.

Weir, E. 1995, trabajando con parcelas de escurrimiento en suelos Argiudoles, encontró disminuciones en los rendimientos de trigo entre 121 y 62,8 kg/cm de suelo perdido y de 30 a 47,5 kg/cm para soja, en parcelas, donde el decapitamiento de la capa superficial de suelo había sido realizado artificialmente.

Gargicevich, A. y S. Massoni, 1991, estiman que la erosión hídrica reduce los rendimientos de maíz trigo y soja, 80, 40 y 35 kg/ha respectivamente, por cada centímetro de suelo perdido por erosión.

En la región pampa ondulada Michelena y col. 1885, encontraron pérdidas de materia orgánica, estructura y percolación superiores al 46,7 por ciento y pérdidas de nitrógeno total y fósforo asimilable de 48,3 y 76,0 % respectivamente. El 32 % del área presenta erosión moderada y/o severa con tasas de erosión entre 20 y 70 t/ha/año.

Casas e Irurtia en 1994, estimaron las pérdidas anuales debidas a mermas en los rendimientos de maíz, trigo y soja en la zona núcleo pampeana, en 230 millones de dólares. Por otra parte Scotta, E. 1990, estima las pérdidas en la provincia de Entre Ríos en 130.000 millones de australes por año y un pérdida de suelo de 13.700.000 de toneladas.

El objetivo de este trabajo es establecer relaciones cuantitativas entre parámetros de erosión y degradación de suelos y el rendimiento de los cultivos, para evaluar su efecto en la producción y permitir la estimación de su impacto económico.

[arriba]

Materiales y métodos

El trabajo se realizó mediante el muestreo de suelos y cultivos en campos de productores ubicados en las proximidades de las localidades de Salto, Pergamino y Arrecifes, provincia de Buenos Aires.

Se ubicaron sitios de observación en establecimientos de productores que realizaban un manejo de suelos y cultivos común en la zona de trabajo. Los suelos de uso agrícola de este sector son, predominantemente, Argiudoles típicos, fértiles, de larga tradición agrícola, tabla 1. Los sitios de observación y muestreo se hicieron exclusivamente sobre estos suelos y sus fases por erosión.

Tabla 1 Características físicas y químicas de un suelo Argiudol típico, no erosionado de la Pampa Ondulada

Horizonte	Profundidad cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Materia orgánica %	pH	Nt %
A	0 - 25	12	65	23	3,43	5.9	0,158

B1	25 - 34	3	57	30	1,46	6.2	0,106
B21T	34 - 75	9	48	44	1,12	6.3	0,090
B22T	75 - 95	13	56	30	0,60	6.5	0,061
B3	95 - 160	17	65	17	0,43	6.4	0,039

El uso agrícola de la tierra en el área donde se realizaron los muestreos, corresponde a agricultura continua cuyos rasgos principales se resumen a continuación. En la mayoría de los casos no se realizan rotaciones con pasturas, los sitios tienen más de 10 años de agricultura continua. Los principales cultivos son, soja, trigo y maíz.

Las labores de labranza y siembra mayoritariamente se realizan con implementos convencionales (arado cincel, rastras de discos y sembradoras convencionales), y en menor proporción se utilizan equipos de siembra directa o labranza conservacionista.

La aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosforados es frecuente en dosis muy variadas

La aplicación de prácticas conservacionistas de control de la erosión hídrica es de escasa difusión, no obstante se presentaron casos donde el control de la erosión hídrica se realizaba muy eficientemente.

Todos estos datos se registraron en planillas y se cuantificaron sus efectos en forma directa o indirecta, al afectar en forma diferencial a algunos de los parámetros considerados. En cada sitio, durante el período de cosecha se hicieron observaciones y mediciones a campo. Simultáneamente se tomaron muestras de suelo para establecer el grado de deterioro o salud del suelo y se realizó la cosecha manual de 10 m² del cultivo correspondiente; se cosechó trigo, maíz y soja de primera.

Las muestras de suelo fueron tomadas en sitios ocupados por suelos caracterizados por presentar erosión, entre el grado ligero y grave. En el grado ligero el suelo ha sufrido una pérdida de hasta 5 cm o menos del 25 % de su capa superficial, en el grado moderado de 5 a 10 cm o del 25 al 50 %, en el grado severo la pérdida se eleva hasta 20 cm o más del 50 % y en el grado grave se ha perdido la totalidad de la capa superficial.

Se tomaron muestras compuestas de suelo, desde la superficie hasta el inicio del horizonte B2t de textura arcillo limosa, y se midió esa profundidad. Este valor se comparó con el correspondiente al perfil modal para establecer la pérdida de suelo superficial. En esta medición se incluyó al horizonte B1 debido a que en muchos casos no se podía identificar.

El muestreo incluyó establecimientos situados en las diferentes fases por erosión. En cada sitio se realizaron las siguientes determinaciones y observaciones:

- X1: Profundidad de la capa superior del suelo (p) en centímetros, desde la superficie hasta el horizonte B2t. Se asume que la disminución del espesor de esta capa con respecto al perfil modal, se debe principalmente a la erosión hídrica y a la compactación

Se tomaron muestras de suelo compuesta por 5 submuestras, de la capa superior para determinar en laboratorio:

- X2: contenido de materia orgánica (mo) en %
- X3: contenido de materia orgánica (MO) en t/ha.
- X4: contenido de nitrógeno total (nt) en %
- X5: contenido de nitrógeno total (Nt) en t/ha.
- X6: contenido de fósforo asimilable,(fos) en ppm
- X7: contenido de fósforo asimilable (Fos) en kg/ha.
- X8: estabilidad estructural por el método de Boodt y de Leenheer, (IE).
- X9: percolación en cm/h por el método de Henín, (pe)
- X10:Tasa estimada de erosión hídrica potencial, (EP) R.K.L.S .
- X11: tasa estimada de erosión hídrica actual (Ea), R.K.L.S.C.P, en t/ha/año, según la

USLE (Wischmeier 1978).

Se midió el grado y longitud de la pendiente en el sector del paisaje al que representaba el sitio, para estimar el factor topográfico de la Ecuación Universal de Predicción de Pérdidas de Suelo (USLE).

Se consideró un valor de R para todos los sitios de 550 t.m/ha cm, y diferentes valores de K, L.S, C y P según las determinaciones y observaciones correspondientes a cada sitio. El valor de C se estableció para toda la secuencia de cultivos y no para el cultivo presente en el momento del muestreo.

Se realizaron determinaciones de densidad aparente (Dap) para convertir los datos de materia orgánica y nitrógeno total en % a t/ha y los de fósforo asimilable en ppm a kg/ha de la siguiente manera.

- $X3 \text{ MO (t/ha)} = \text{mo (\%)} \cdot \text{Dap} \cdot \text{Prof (cm)}$
- $X5 \text{ Nt (t/ha)} = \text{nt (\%)} \cdot \text{Dap} \cdot \text{Prof (cm)}$
- $X7 \text{ FOS(kg/ha)} = \text{fos (ppm)} \cdot \text{Dap} \cdot \text{Prof (cm)} \cdot 10^{-1}$

Las condiciones climáticas están fuertemente influenciadas por las lluvias. La pluviometría correspondiente al período considerado fue, superior al promedio, en los años 1990, 1991 y 1993 e inferior en los años 1992 y 1994, tabla 2. No obstante los cultivos presentaron en el área de estudio, un desarrollo normal

Meses	1990	1991	1992	1993	1994	Promedio
Enero	149,2	112,1	85,6	201,8	64,3	122,6
Febrero	58,3	46,8	60,1	41,1	70,7	55,4
Marzo	160,2	139,2	58,3	95,5	39,4	98,5
Abril	177,5	184,9	86,7	382,2	117,2	189,7
Mayo	68,8	103,0	37,2	97,4	52,8	71,8
Junio	0,3	77,7	194,4	64,6	25,4	72,5
Julio	38,9	27,7	24,7	11,6	17,1	24,0
Agosto	9,3	54,7	55,5	23,6	25,0	33,6
Septiembre	40,9	77,0	37,1	51,6	10,8	43,5
Octubre	193,8	92,1	47,5	261,4	135,5	146,1
Noviembre	185,8	91,1	113,2	92,5	22,8	101,1
Diciembre	156,0	307,2	80,0	83,0	69,1	159,1
Total	1239,0	1236,7	880,0	648,1	1117,9	-

[arriba]

Resultados

Durante el período 1990-1994 se analizaron 184 sitios, de los cuales 111 corresponden a soja, 49 a trigo y 24 a maíz.

Soja cuenta con 5 años de registro , trigo con 3 y maíz con uno tabla 3.

Año	Soja	Trigo	Maíz	Total
1990	14	-	-	14
1991	20	-	-	36
1992	36	-	-	36

1993	13	15	-	28
1994	28	24	24	76
Total	111	49	24	184

Se estudió la relación entre cada una de las variables consideradas (X1 a X11) y los rendimientos (Y), mediante regresiones simples y sus coeficientes de correlación. Las variables medidas, presentaron un amplio rango de variación, en coincidencia con los valores encontrados por Michelena y col. en el estudio de la degradación de los suelos del norte de la región pampeana, realizado a fines del 80, tabla 4.

Tabla 4 - Rango de variación de las variables edáficas y de erosión medidas en el campo

Rango	Profundidad cm	EP t/ha/a	mo %	fós ppm	Ea t/ha/año
Mínimo	10	24,7	1,02	3,8	0,4
Máximo	43	199,6	4,64	91,0	59,9

Se establecieron 42 ecuaciones de regresión simple que presentaron diferentes grados de significancia, según la variable considerada y el año.

Las variables (X11) Ea, (X10) EP y (X1) p, presentaron la mayor frecuencia de regresiones significativas, 7-6 casos sobre un total de 9. Le siguen (X3) MO, (X7) FOS y (X5) NT, que presentaron 5 casos y las restantes una frecuencia menor, tabla 5.

Tabla 5. Niveles de significación de los coeficientes de correlación (r) de las ecuaciones de regresión simple, entre el rendimiento (Y) y los distintos parámetros edáficos y de erosión considerados (X 1 a X 11)

Cultivo/año	X1 p	X2 mo	X3 MO	X4 nt	X5 Nt	X6 fos	X7 FOS	X8 IE	X9 Pe	X10 EP	X11 Ea
soja. 90	ns	ns	ns	*	**	***	***	ns	ns	ns	ns
soja. 91	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
soja. 92	***	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	***
soja. 93	*	ns	*	ns	*	ns	**	ns	ns	**	*
soja. 94	***	ns	**	ns	***	**	***	ns	ns	*	ns
trigo 91	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
trigo 93	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**	***
trigo 94	**	ns	***	ns	***	ns	ns	**	*	***	**
maíz 94	***	*	***	**	***	ns	***	ns	ns	***	***
casos signif.	6	1	5	2	5	2	5	1	1	7	7

NOTA: niveles de significación para valores del coeficiente de correlación (r) de Fisher y Yates, Statistical Tables for Biological Agricultural, and Medical Research.

ns : no significativo

* : P=0,100

** : P=0,050

*** : P=0,010

Los índices de estructura (X8) y percolación (X9), mostraron muy bajas frecuencias de coeficientes significativos. En algunos casos mostraron una tendencia inversa a la esperada, o sea que en los suelos severamente erosionados mejoraban los índices de estructura y de percolación. Esto se atribuye a la abundante presencia de material arcilloso proveniente del horizonte B2t en los suelos muy erosionados. Por estas razones estas variables se descartaron para las regresiones múltiples.

Materia orgánica, nitrógeno total y fósforo asimilable mejoraron el coeficiente de correlación cuando se expresaron en t/ha o kg/ha y no en % o ppm.

Las ecuaciones lineales de regresión simple cuantifican pérdidas importantes de rendimiento con la disminución de los principales parámetros edáficos y el aumento de la tasa de erosión, tabla 6. Los coeficientes de correlación permiten cuantificar el sentido y el grado de los efectos de la variables estudiadas en los rendimientos

Tabla 6. Ecuaciones de regresión simple. Rendimientos (Y) en función de variables edáficas (X1 a X9) y de erosión (X1, X10 y X11)				
Nº cultivo. año	a + b.X	r	n	P
1 soja 90	1617,5+8210,9 X.4	0,49	14	0,10
2 soja 90	2037,1+187,9 X.5	0,54	14	0,05
3 soja 90	2601,0+15,9 X.6	0,78	14	0,01
4 soja 90	2520,6+7,15 X.7	0,73	14	0,01
5 soja 91	1925,3+88,4 X.1	0,50	20	0,05
6 soja 92	4878,5-38,40 X.11	-0,40	20	0,10
7 soja 92	1514,9+52,3 X.1	0,62	36	0,01
8 soja 92	2006,9+9,7 X.3	0,62	36	0,01
9 soja 92	3816,2-33,9 X.11	0,53	36	0,01
10 soja 92	4005,6-10,9 X.10	-0,56	36	0,01
11 soja 93	1013,6+48,4 X.1	0,55	13	0,10
12 soja 93	1218,3+11,1 X.3	0,54	13	0,10
13 soja 93	1228,3+221,8 X.5	0,54	13	0,10
14 soja 93	2850,8-11,7 X.10	-0,68	13	0,05
15 soja 93	2630,1-31,1 X.11	-0,55	13	0,10
16 soja 93	1031,3+37,4 X.7	0,57	13	0,05
17 soja 94	491,5+80,9 X.1	0,77	28	0,01
18 soja 94	1645,6+10,3 X.3	0,41	28	0,05
19 soja 94	1168,3+337,2 X.5	0,59	28	0,01
20 soja 94	1379,6+77,8 X.6	0,44	28	0,05
21 soja 94	1345,5+30,0 X.7	0,70	28	0,01
22 soja 94	2854,8-8,1 X.10	-0,36	28	0,10
23 trigo 91	3232,4-14,9 X.10	-0,60	10	10
24 trigo 91	3232,4-26,8 X.11	-0,60	10	0,05
25 trigo 93	1468,5+9,6 X.711	0,53	15	0,01
26 trigo 93	3194,2-13,3 X.10	-0,64	15	0,01
27 trigo 93	3194,2-44,2 X.11	-0,64	15	0,01
28 trigo 94	524,4+92,1 X.1	0,66	24	0,01
29 trigo 94	1068,1+21,4 X.3	0,55	24	0,01
30 trigo 94	1067,1+365,3 X.5	0,55	24	0,01
31 trigo 94	3532,9-12,9 X.10	-0,55	24	0,01

32	trigo	94	4759,5-866, X.8	-0,45	24	0,05
33	trigo	94	1471,8+151,6 X.9	0,39	24	0,10
34	trigo	94	3021,3-34,2 X.11	-0,46	24	0,05
35	maíz	94	1732,3+193,2 X.1	0,69	24	0,01
36	maíz	94	3410,1+36,7 X.3	0,62	24	0,01
37	maíz	94	2710,7+888,4 X.5	0,77	24	0,01
38	maíz	94	2227,0+134,7 X.7	0,59	24	0,01
39	maíz	94	9085,9-40,4 X.10	-0,62	24	0,01
40	maíz	94	3371,3+1079,0 X.2	0,36	24	0,10
41	maíz	94	2206,8+29114,4 X.4	0,52	24	0,01
42	maíz	94	8874,2-130,3 X.11	0,65	24	0,01

Los coeficientes de regresión obtenidos en soja trigo y maíz indican que por cada centímetro de suelo perdido por erosión se pierden en promedio 67,5 92,1 y 193,2 Kg/ha respectivamente.

La disminución de una tonelada por hectárea de materia orgánica provoca una disminución en los rendimientos de soja, trigo y maíz de 10,3 21,4 y 36,7 kg/ha respectivamente. En forma análoga la disminución de una tonelada por hectárea de nitrógeno total produce mermas en los rindes de 250 365,3 y 888,4 Kg/ha respectivamente. La pérdida de 1kg/ha de fósforo asimilable genera mermas en los rindes de 24,8 9,7 y 134,7 kg/ha respectivamente

El incremento en una unidad de la tasa de erosión actual (1 t/ha/año), ocasiona una disminución en los rendimientos de soja, trigo y maíz de 34,5 41,7 y 130,3 Kg/ha respectivamente. Si bien la tasa de erosión se refiere específicamente a la pérdida de suelo, no debe perderse de vista que esta pérdida está estrechamente relacionada con un mayor escurrimiento y por lo tanto a una menor captación de agua pluvial por parte del suelo. Los efectos de la profundidad del suelo, del contenido de materia orgánica y de nitrógeno total y de la tasa de erosión actual son mayores en maíz, luego le sigue el trigo y por último la soja. El efecto del contenido de fósforo asimilable es mayor en maíz y luego le siguen la soja y el trigo.

Cada una de estas ecuaciones muestra el efecto de un solo parámetro en los rendimientos. Para incluir los efectos de dos o más parámetros se seleccionaron a aquellos que presentaron coeficientes de correlación significativos y se elaboraron regresiones múltiples. En estas ecuaciones el rendimiento de los cultivos (Y) es función de varios parámetros, ya sea de suelos o erosión.

Se establecieron 60 ecuaciones de regresión múltiple significativas (N°43 a 102), que permiten evaluar el efecto conjunto de dos o más variables en los rendimientos de soja trigo y maíz, tabla 7. Para soja se determinaron 39 ecuaciones que abarcan el período 1990-1994; para trigo 10 ecuaciones para el período 1991-1993 y para maíz 11 correspondientes al año 1994, tabla 8. En los casos de soja y trigo pueden establecerse rendimientos promedio de varios años para obtener una mejor aproximación de la productividad del suelo.

Tabla 7. Ecuaciones de regresión múltiple. Rendimientos (Y) en función de variables edáficas y de erosión (X1 a X11)						
Nº cultivo año	a+b.X1+b2.X2+bn.Xn			r	n	P
43	soja	90	1426,7+44,7.X1+18,6.X6	0,78	14	0,01
44	soja	90	1834,5+27,7.X1+7,0.X75	0,79	14	0,01
45	soja	90	1977,5+229,8.X2+14,8.X6	0,67	14	0,05
46	soja	90	2719,7+15,6.X6-1,4.X10	0,62	14	0,05
47	soja	90	2720,1+15,6.X6-4,5.X11	0,62	14	0,05

48	soja	90	2076,1+5,7.X3+6,7.X7	0,79	14	0,01
49	soja	90	1211,2+41,0.X1+115,4.X2+17,8.X6	0,70	14	0,01
50	soja	90	1871,5+17,7.X1+6,8.X7+2,7.X3	0,64	14	0,01
51	soja	90	2100,4+221,4.X2+14,5.X6-3,8X11	0,67	14	0,05
52	soja	90	2099,9+221,5.X2+14,5.X6-1,1X10	0,67	14	0,05
53	soja	91	1724,1+71,1.X1-21,8.X11	0,54	20	0,05
54	soja	91	4545,9+3,0.X3-34,3.X11	0,40	20	0,10
55	soja	92	1762,7+22,5.X1+5,8.X3	0,62	36	0,01
56	soja	92	1572,4+36,2.X1+11,2.X7	0,62	36	0,05
57	soja	92	1890,7+11,6.X7+6,8.X3	0,65	36	0,01
58	soja	92	2280,8+32,2.X1+6,4.X7-17,9.X11	0,68	36	0,01
59	soja	92	1804,2+8,7.X1+10,8.X7+5,5.X3	0,65	36	0,01
60	soja	92	1081,5+35,9.X1+305,6.X2	0,64	36	0,01
61	soja	92	1024,4+49,0.X1+54,7.X6	0,67	36	0,01
62	soja	92	699,1+35,6.X1+51,9.X6+253,3.X2	0,68	36	0,01
63	soja	92	1889+20,7.X1+347,7.X2-21,1.X11	0,70	36	0,01
64	soja	92	1785+40,7.X1+39,2.X6-15,1.X11	0,70	36	0,01
65	soja	92	2090+22,8.X1+272,6.X2-5,9.X10	0,68	36	0,01
66	soja	92	1871+39,6.X1+35,9.X6-4,2.X10	0,68	36	0,01
67	soja	93	804,3+43,9.X1+106,2.X2	0,56	13	0,10
68	soja	93	166,6+51,2.X1+71,6.X6	0,59	13	0,05
69	soja	93	2577,0+8,6.X1-10,4.X10	0,68	13	0,05
70	soja	93	1772,0+28,5.X1-18,1.X11	0,60	13	0,05
71	soja	93	1648,6+26,8.X1+52,0.X2-17,6.X11	0,60	13	0,05
72	soja	93	2487,7+7,3.X1+38,9.X2-10,3.X10	0,68	13	0,05
73	soja	93	-141,6+45,5.X1+137,2.X2+74,7.X6	0,60	13	0,05
74	soja	93	802,9+19,3.X1+127,2.X6-30,9.X11	0,68	13	0,05
75	soja	94	258,7+74,1.X1+32,3.X6	0,79	28	0,01
76	soja	94	1895,0+61,5.X6-4,8X10	0,47	28	0,05
77	soja	94	1519,8+71,6.X6-5,1.X11	0,44	28	0,05
78	soja	94	621,4+57,1.X1+12,6.X7	0,79	28	0,01
79	soja	94	1300,6+1,3.X3+28,9.X7	0,71	28	0,01
80	soja	94	2116,1+7,8.X3-4,5.X10	0,45	28	0,05
81	soja	94	1769,1+9,4.X3-4,9.X11	0,41	28	0,05
82	trigo	93	738,4+30,3.X1+27,2.X6	0,53	15	0,10
83	trigo	93	895,0+210,7.X2+31,6.X6	0,46	15	0,10
84	trigo	93	1406,5+3,9.X1+9,1.X7	0,53	15	0,10
85	trigo	93	1430,6+0,9.X3+9,2.X7	0,53	15	0,10
86	trigo	94	960,7+79,6.X1-14,4.X11	0,68	24	0,01

87	trigo	94	2556,2+170,9.X2-34,6.X11	0,47	24	0,05
88	trigo	94	2241,5+12,0.X3-7,1.X10	0,57	24	0,01
89	trigo	94	1607,3+17,2.X3-22,2.X11	0,61	24	0,01
90	trigo	94	3016,8+0,1.X7-34,2.X11	0,46	24	0,05
91	trigo	94	954,7+79,5.X1+2,5.X2-14,4.X11	0,68	24	0,01
92	maíz	94	1071,1+180,8.X1+340,6.X2	0,70	24	0,01
93	maíz	94	3898,5+144,1.X1-14,8.X10	0,71	24	0,01
94	maíz	94	4618,4+126,5.X1-67,3.X11	0,73	24	0,01
95	maíz	94	1869,5+162,0.X1+7,5.X3	0,69	24	0,01
96	maíz	94	8404,8+191,8.X2-38,3.X10	0,62	24	0,01
97	maíz	94	2586,4+28,4.X3+48,4.X7	0,64	24	0,01
98	maíz	94	6158,4+21,3.X3-22,6.X10	0,67	24	0,01
99	maíz	94	6520,6+18,1.X3-84,2.X10	0,69	24	0,01
100	maíz	94	6506,9+60,8.X7-30,0.X10	0,66	24	0,01
101	maíz	94	6307,8+64,8.X7-101,0.X11	0,69	24	0,01
102	maíz	94	3185+144,2.X1+199,2.X2-12,5.X10	0,71	24	0,01

[arriba]

Discusión

Los resultados obtenidos señalan claramente que la profundidad del suelo, su contenido de materia orgánica nitrógeno y fósforo, y la tasa de erosión, se relacionan con los rendimientos. Las tendencias obtenidas se aproximan a las mencionadas por los autores citados en la introducción de este trabajo. Sin embargo los coeficientes de correlación determinados son algo menores.

Para discutir estos resultados se aplican estas ecuaciones a los datos disponibles de suelos con diferentes grados de degradación.

Tomando en cuenta los datos de degradación y erosión publicados por Michelena y colaboradores en 1989, tabla 8, se estimaron los rendimientos de soja, trigo y maíz. Se tomaron varias ecuaciones por cultivo para obtener valores promedio de cada cultivo, tabla 9.

Tabla 8.- Valores de profundidad, materia orgánica, fósforo asimilable y tasa de erosión, en Argiudoles típicos de la pampa ondulada, con diferente grado de degradación, (Michelena y col. 1989)

Grado de erosión y degradación del suelo	Profundidad en cm	Materia orgánica % t/ha		Fósforo asimilable ppm kg/ha		Erosión t/ha/año potencial actual	
	X1	X2	X3	X6	X7	X10	X11
NULO	34,0	3,43	136,4	29	116	50,5	12,6
LIGERO	31,5	3,43	126,4	29	108	50,5	12,6
MODERADO	26,5	2,78	86,2	26	80	56,1	20,5
SEVERO	19,0	2,48	55,1	12	28	78,2	27,8
GRAVE	14,0	1,95	31,9	10	16	157,3	57,4

NOTA: para calcular materia orgánica y fósforo asimilable en t/ha y kg/ha se utilizó una densidad aparente promedio de 1,17.

De las tablas 6 y 7 se seleccionaron varias ecuaciones para obtener un valores promedio de rendimiento de soja trigo y maíz, tabla 9.

Las ecuaciones seleccionadas fueron las siguientes: para soja las ecuaciones N° 49, 53, 62, 71, y 75 correspondientes a los años 1990/91/92/93/94; para trigo las ecuaciones N° 24, 82 y 91, correspondientes a los años 1991/93/94 y para maíz se tomaron las ecuaciones N° 92, 95, y 97 correspondientes al año 1994. De este modo para soja y trigo se obtienen rendimientos estimados promedio de varios años mientras que en el caso del maíz es un promedio de diferentes ecuaciones del mismo año.

El maíz es el cultivo mayormente afectado por la erosión, la pérdida de 7,5cm de suelo superficial (erosión moderada) le ocasiona mermas en los rendimientos del 22%, la erosión severa y grave pérdidas de 44 y 55 % , mientras que en soja y trigo son menores, tabla 9.

Tabla 9.-Rendimientos promedio estimados en Kg/ha, para diferentes grados de erosión hídrica y disminución en por ciento con respecto al suelo no erosionado

RENDIMIENTOS									
Grado	nulo	ligero	%	moderado	%	severo	%	grave	%
soja	3584	3459	4	3022	16	2297	36	1720	52
trigo	2973	2907	2	2583	7	2124	30	1521	49
maíz	9622	9080	6	7503	22	5403	44	4310	55

[[arriba](#)]

Conclusiones

Se considera que los promedios estimados con las ecuaciones predictivas reflejan en un grado razonable los rendimientos obtenidos por los productores en las situaciones de degradación estudiadas. Estas ecuaciones podrán utilizarse para estimar el impacto productivo y económico, de la degradación del suelo para las distintas situaciones de erosión y/o degradación.

Este objetivo requiere por un lado un monitoreo periódico del estado de salud del suelo y por el otro una actualización de las ecuaciones predictivas debido a la constante incorporación de tecnología que hacen los productores de la región pampeana en general. De esta manera se logrará aumentar el grado de precisión y de confiabilidad que requiere todo modelo predictivo.

[[arriba](#)]

Referencias

Apezteguía, H. y otros.1986. Disminución de los rendimientos de soja debidos a la erosión hídrica en suelos de la región semiárida central de Córdoba. XI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Neuquén-Río Negro, septiembre.

Berón, R. y E. Lemos, 1982. Incidencia de la erosión hídrica sobre los rendimientos en suelos de la serie Arroyo Dulce. Carpeta de producción vegetal. Trigo. Información N° 51. EEA-INTA Pergamino, Buenos Aires.

Brown, L.R. and E.C.Wolf.1984. Soil Erosion: Quiet Crisis in the World Economy. Worldwatch Paper 60. Worldwatch Institute, Washington, D.C., USA.

Bruce, et al., 1987.Citado por Steward and D.R.Nielsen in Irrigation of Agricultural Crops.(1990) Chapter, Soil erosion on irrigated lands. The impact of erosion on crop yield. Page 1151-1155..American Society of Agronomy. USA.

Carter et al.,1985. Citado por Steward and D.R.Nielsen in Irrigation of Agricultural Crops.(1990) Chapter, Soil erosion on irrigated lands. The impact of erosion on crop yield. Page 1151-1155..American Society of Agronomy. USA.

Casas, R. y C. Irurtia, 1995. Lo que la erosión se llevó. Campo y tecnología. Año IV N° 18. Enero/febrero.

Crosson, P. and A.T.Stout 1986. Impact of erosion on land productivity and water quality in the Unites States. Soil Erosion and Conservation. Edited by S.A. El-Swafy, W.C. Moldenhauer and Adrew Lo.

Daniels, et al., 1987. Citado por Steward and D.R.Nielsen in Irrigation of Agricultural Crops.(1990) Chapter, Soil erosion on irrigated lands. The impact of erosion on crop yield. Page 1151-1155..American Society of Agronomy. USA.
Díaz, R. 1994. Comunicación personal.

Flores, M. 1997. EPIC Model Application in Argiudolls soils in the Pampean Region in the Province of Buenos Aires. Instituto de Clima y Agua, INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina.In press.

Gargicevich, A. y Massoni S., 1991. Manual. Agricultura Conservacionista. Fundación Producir Conservando. EEA-INTA Pergamino, Buenos Aires.

Krauss, H.A. and R.R. Allmaras. 1982. Tecnology masks the effects of soil erosion and wheat yields-A case study in Whitman County Washington. Special publication N° 45 Am Soc. of Agron, Madison WI.

Lyles , L., 1975. Possible effects of wind erosion on soil productivity. Journal of Soil and Water Conservation, November/December. USA.

Lal, R. 1981. Soil erosion problems on Alfisols in western Nigeria. VI. Effects of erosion on experimental plots. Geoderma 25:215-230.

Lal,R.,1988. Soil erosion research methods. Chapter 9. Monitoring soil erosion's impact on crop productivity. Soil and water conservation Society.7515 northeast Akeny road .Iowa.USA.

Lal, R. citado por S.A. El Swaify and E. W. Dangler. 1982. Rainfall erosion in the tropics: A state of the art. In American Society of Agronomy, Soil erosion and conservation in the tropics.(Madison Wisc. 1982).

Mirassou, S.,1994. Comunicación personal.

Larson,W.E. Pierce, F.J. and R.H. Dowdy.1983. The threat of soil erosion to long-term crop production. Science 219 (4,584):458-465.

Michelena, R. Irurtia, Mon, R y F. Vabruska.1989. Degradación de suelos en el norte de la región pampeana. EEA-INTA Pergamino, publ. t.c. N° 6, Buenos Aires Argentina. Musto, J.C., 1974, La degradación de los suelos en la República Argentina. Tirada interna N 67. Instituto de Suelos , Castelar, Buenos Aires.

Papendick et al.1985. Citado por Steward and D.R.Nielsen in Irrigation of Agricultural Crops.(1990) Chapter, Soil erosion on irrigated lands. The impact of erosion on crop yield. Page 1151-1155..American Society of Agronomy. USA.

Scotta, E., 1990. Estimación del valor económico de la erosión hídrica en Entre Ríos. INTA EEA Paraná . Area de Investigación en Suelos.

Stocking, M. and L. Peake.1982. Erosion-Induced loss in soil productivity: Trends in research and international cooperation. Congreso mundial de conservación de suelos , Maracay Venezuela.

Weir, E., 1995. Informe de Avance INTA-FAO. Cartas Acuerdo. Parcelas de escurrimiento y parcelas de productividad. EEA Marcos Juárez , Córdoba.

White et al. 1985. Citado por Steward and D.R.Nielsen in Irrigation of Agricultural Crops.(1990) Chapter, Soil erosion on irrigated lands. The impact of erosion on crop yield. Page 1151-1155..American Society of Agronomy. USA.

Williams, J. Jones, C. y P. Dyke. 1990. EPIC-Erosion /productivity Impact Calculator. USDA-ARS Technical w5 Bulletin Number 1768.

Wischmeier, W. H. and D.D. Smith.1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook number 537. USA.

[[arriba](#)]