

PROPUESTA DE ESTIMACION DEL IMPACTO DE LA EROSION SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO EN URUGUAY

F. García Préchac¹ y A. Durán²

Recibido: 25 de mayo de 1998. Aceptado: 26 de junio de 1998.

RESUMEN

En Uruguay se ha ajustado y validado el modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión. Sin embargo, la pérdida física de suelo debe poder expresarse en términos de productividad física o económica o de valor venal de la tierra, para guiar la selección de alternativas de uso y manejo del suelo y evaluar su impacto en términos productivos y económicos. Los procedimientos en uso en el mundo para estos fines no están ajustados y validados para Uruguay y expresan la productividad en términos de producción vegetal. Al predominar en Uruguay la producción animal extensiva basada en pastoreo directo de pasturas naturales, parece más apropiado lograr expresar el efecto de la erosión en términos de pérdida de productividad animal en las condiciones tecnológicas predominantes. En estas condiciones, Uruguay cuenta con un sistema de evaluación de la productividad de los suelos a nivel predial en términos de carne y lana, en el que se basan algunos tributos sobre la tierra. El mismo posee tan amplia aceptación que guía el mercado de tierras. Dicho sistema reconoce variaciones en su Índice de Productividad (IP) debidos a erosión pasada. Este trabajo tuvo como primer objetivo el detectar si existía una relación cuantitativa entre el grado de erosión pasada y la variación asignada del IP. Encontrada la misma, el segundo objetivo fue presentar y ejemplificar un procedimiento para transformar las estimaciones de pérdida física de suelo en pérdida de IP. Se plantea a futuro investigar la actual relación entre IP y valor venal de la tierra.

PALABRAS CLAVE: suelo, erosión, productividad, predicción de pérdida de productividad por erosión.

SUMMARY

A PROCEDURE TO ESTIMATE SOIL EROSION IMPACT ON SOIL PRODUCTIVITY IN URUGUAY

USLE and RUSLE were reasonably adjusted and validated in Uruguay to predict soil erosion. Nevertheless, soil mass losses should be expressed in terms of soil productivity or land value losses, in order to guide soil management decision making, and assess its impact in productive and economic terms. Procedures to do the last, cited in the literature (like EPIC), are not validated in Uruguay, and express soil productivity in terms of crop productivity. Being extensive animal production, based on pastures grazing, the main agricultural activity in Uruguay, soil productivity loss due to soil erosion should be better expressed in these terms. Uruguay possesses a system of soil productivity assessment at individual farm level, that expresses soil potential animal production of beef and wool based on natural pastures grazing, as percentage of the national average. This system was developed to guide land taxing, and became so widely accepted that guides the land market. The system recognizes variations in its Productivity Index (PI) due to past soil erosion. The present work had two objectives. The first one was to quantify, inside the system, the relationship between degree of erosion and PI. The second one, was to develop a procedure to transform soil erosion rate estimates into PI loss estimates, and to give examples of its use. The next future step will be to investigate the relationship between PI and land market price.

KEY WORDS: soil, erosion, productivity, soil productivity loss prediction due to erosion.

INTRODUCCION

La investigación y desarrollo de herramientas (modelos) para estimar la pérdida de suelo por erosión, a nivel mundial, han sido muy desproporcionados en relación al desarrollo de herramientas que evalúen el impacto de la erosión sobre la productividad del suelo (Pierce, 1991; Pierce y Lal, 1994). Esto es más acentuado en países pequeños

como Uruguay, con una reducida masa crítica de investigadores dedicados al tema, trabajando con presupuestos modestos y altamente variables en el tiempo.

De todas maneras, el trabajo realizado ha permitido adaptar y validar la USLE (Universal Soil Loss Equation, Wischmeier y Smith, 1978) y más recientemente su versión revisada, RUSLE (Renard et al., 1991 y 1994), para estimar pérdidas de suelo por erosión. Dicho trabajo está documentado en García Préchac (1982), Puentes y Szogi (1983), García Préchac (1992), García Préchac y Clérico (1996) y García Préchac et al. (1996). Por el contrario, es muy escaso, reciente y de resultados no totalmente satisfactorios, el trabajo llevado a cabo utilizando EPIC (Erosión Prediction Impact Calcula-

¹ Ing. Agr. (M. Sci., Ph. D.) Profesor de Manejo y Conservación de Suelos y Aguas.

² Ing. Agr. (M. Sci.) Profesor de Edafología.

tor, Williams y Renard, 1985), para estimar pérdida de productividad por erosión (Clérici, C., com. pers.). Una dificultad importante resulta de la imposibilidad de alterar o sustituir la versión de la USLE que incluye el programa de computación para el uso de EPIC, por la versión adaptada y validada para Uruguay. Por otra parte, EPIC y otros modelos alternativos, estiman la productividad del suelo de acuerdo con las definiciones de la SSSA (1975) y la SCSA (1982), entendida como la capacidad del suelo para producir cultivos o secuencias de cultivos o plantas. Alrededor del 80% de la superficie de Uruguay se utiliza en producción animal en sistemas de pastoreo con bajo nivel tecnológico. Si bien cualquier producción animal se basa en producción vegetal, para el caso de Uruguay parece más conveniente realizar la estimación de productividad del suelo y su pérdida por erosión, en términos de la producción animal predominante.

Por otra parte, existe necesidad de disponer de algún procedimiento para estimar el valor de la erosión en Uruguay, tanto la pasada como la futura, medida o inferida la primera en los levantamientos de suelos y estimada la segunda con modelos validados, para el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Conservación de Suelos y Aguas con Fines Agropecuarios (Ley N° 15.239), en la Ley de Impacto Ambiental (Ley N° 16.466), para permitir la inclusión del valor de la tierra y su depreciación por erosión en los inventarios nacionales y prediales, así como para dar mejor sentido a la utilización de estimaciones de erosión para guiar la toma de decisiones al comparar alternativas actuales y potenciales de uso y manejo de los suelos.

Hoehn (1990), propuso un sistema de cuentas ambientales para el análisis de una política ambiental en Uruguay. Este autor utilizó estimaciones de erosión realizadas con la USLE, apoyándose en la disponibilidad en Uruguay de un inventario del recurso suelo que, basándose en la cartografía y clasificación de los suelos a escala 1:40.000, llega al nivel de cada propiedad individual en todo el territorio (MGAP, 1979 y 1994). En forma específica, Hoehn indicó que la pérdida de suelos, materia orgánica y nitrógeno eran elementos con buena factibilidad de evaluación económica, pero no concretó una propuesta de cómo hacerlo.

El inventario de suelos antes referido, tuvo entre sus principales objetivos el de establecer un sistema de tributación por la tierra. Dicho sistema se basa en la productividad de la pastura natural sin mejoramiento (por ej. fertilización, incorporación de especies mejoradas, etc.), en términos de carne bovina, carne ovina y lana, referida a una base 100 que representa el promedio nacional. El sistema se basa en la transformación a escala 1:20 000 de la cartografía de suelos, con unidades que representan áreas homogéneas que contienen asociaciones de suelos y su paisaje (Unidades CONEAT). La productividad en carne y lana de la Unidades CONEAT, referidas a la base 100 (Índices de Productividad, IP), se determinó a principios de los años 70 en base a resultados experimentales y estadísticas de producción provenientes de 721 divisiones administrativas (sectores censales), que no se corresponden con las Unidades CONEAT. Sin embargo, debi-

do a que en muchas de ellas son dominantes ciertas Unidades CONEAT, fue posible aproximar su productividad en los términos arriba referidos. En los casos dudosos se recurrió a la opinión de Técnicos de reconocida capacidad y experiencia en la zona en cuestión.

El IP de un predio es el promedio ponderado por área ocupada, de las Unidades CONEAT presentes en el predio. Los IP, a pesar de representar productividad en términos de productos animales, están muy correlacionados con la productividad potencial para cultivos de la tierra.

El sistema fiscal establecido a comienzo de la década del 70 tuvo un período de alrededor de 5 años durante el cual los titulares de explotaciones agropecuarias tuvieron la oportunidad de realizar reclamos (impugnaciones) de revisión del IP asignado a sus establecimientos, basados en consideraciones principalmente técnicas. Luego de dicho período el sistema quedó bien establecido, habiéndose constituido el IP en el principal referente del valor venal de la tierra. Un estudio realizado entre 1976 y 1985 (MGAP, 1987), encontró una estrecha relación entre el valor venal de la tierra y su IP, considerando todas las transacciones de compraventa de predios mayores a 5 ha en el período. Es decir que el IP era el principal indicador del valor venal de la tierra.

Por otra parte, dentro de las Unidades CONEAT existen varias en las que se hicieron subdivisiones, a las que se asignaron IP diferentes, en base a las variaciones encontradas en el levantamiento de suelos en el grado de erosión de dichas subdivisiones.

Si bien las Unidades CONEAT no contienen suelos individuales (Grandes Grupos, Clases, Subclases u otros taxones), en su gran mayoría suele ocurrir que el IP está asociado a uno o a lo sumo dos suelos dominantes. Por lo tanto, si el criterio de asignación de los valores de IP diferenciales por grado de erosión fue consistente en todos los casos y si dichos grados de erosión pueden expresarse cuantitativamente en cantidades de suelo perdido, sería posible transformar estimaciones de pérdida de suelo realizadas con USLE/RUSLE, u otros modelos, en pérdida de IP y eventualmente en pérdida de valor venal de la tierra, si se utilizan las relaciones que muestre el mercado entre el último y el IP.

Los objetivos de este trabajo fueron:

1. Estudiar la posible existencia de una relación cuantitativa entre los valores de IP diferenciales por grado de erosión y alguna aproximación cuantitativa de dichos grados.

2. Obtenido el objetivo anterior, proponer un procedimiento que transforme estimaciones de pérdida de suelo por erosión en pérdida de IP y ejemplificar su uso en un grupo de Unidades CONEAT dominadas por suelos individuales representativos de un área importante del país, sometidos a diferentes alternativas de uso y manejo.

MATERIALES Y METODOS

Para alcanzar el primer objetivo, se revisó la información más reciente publicada por CONEAT (MGAP, 1994). Se encontraron 11 casos, correspondientes a Unidades CONEAT

que fueron divididas en una o más subunidades, con IP diferentes, en función del grado de erosión presente al efectuarse el levantamiento de suelos (ver cuadro 1). De acuerdo con las descripciones de dichas Unidades, la pérdida de suelo se aproxima a los porcentajes de pérdida de horizonte A indicados en el cuadro 2. En dicho cuadro, también se indica la codificación utilizada para transformar la escala cualitativa de grado de erosión en una escala continua.

Cuadro 1. Grupos de suelo y grado de erosión de los casos CONEAT considerados (MGAP, 1994)

CASO CONEAT 1: Grupos 10.8a y 10.8b, Unidad Tala-Rodríguez
El 10.8b tiene grado de erosión LIGERA-MODERADA
El 10.8a, SEVERA-MUY SEVERA
CASO CONEAT 2: Grupos 9.2/9.6 (promedio ponderado) y 9.41, Unidad Chapicuy
El Grupo 9.2/9.6 tiene grado de erosión LIGERA
El 9.41, LIGERA-MODERADA
CASO CONEAT 3: Grupos 9.41 y 9.42, Unidad Chapicuy
El 9.41 tiene grado de erosión LIGERA-MODERADA
El 9.42 MUY SEVERA
CASO CONEAT 4: Grupos 10.6a y 10.6b, Unidades Kiyú-Toledo y Toledo
El 10.6a tiene grado de erosión LIGERA-MODERADA
El 10.6b SEVERA
CASO CONEAT 5: Grupos 10.6a y 10.11, Unidades Kiyú-Toledo y Toledo
El 10.6a tiene grado de erosión LIGERA-MODERADA
El 10.11 LIGERA
CASO CONEAT 6: Grupos 10.6b y 10.11, Unidades Toledo y Kiyú
El 10.6b tiene grado de erosión LIGERA-MODERADA
El 10.11 LIGERA
CASO CONEAT 7: Grupos 10.3 y 10.13, Unidad Montecoral
El Grupo 10.3 tiene grado de erosión NULA
El 10.13 LIGERA-MODERADA
CASO CONEAT 8: Grupos 10.3 y 10.14, Unidad Montecoral
El 10.3 tiene grado de erosión NULA
El 10.14 MODERADA-SEVERA
CASO CONEAT 9: Grupos 10.13 y 10.14, Unidad Montecoral
El Grupo 10.13 tiene grado de erosión LIGERA-MODERADA
El 10.14 MODERADA-SEVERA
CASO CONEAT 10: Grupos 11.9 y 11.10, Unidad Ecilda Paultier-Las Brujas
El Grupo 11.9 tiene grado de erosión LIGERA
El 11.10 MODERADA-SEVERA
CASO CONEAT 11: Grupos 9.2/9.6 y 9.42, Unidad Chapicuy
El Grupo 9.2/9.6 tiene grado de erosión LIGERA
El 9.42 MUY SEVERA

Cuadro 2

Grado de erosión	Porcentaje de horizonte A perdido	Codificación
Nula	0	0
Ligera	0 - 25	1
Moderada	25 - 50	2
Severa	50 - 75	3
Muy severa	75 - 100	4

En cada subunidad CONEAT por grado de erosión se calculó el cambio en el grado de erosión codificado y en el IP (porcentual), en relación a la subunidad CONEAT menos afectada por erosión. Se calcularon la regresión y correlación lineal entre ambas variables.

Para el cumplimiento del segundo objetivo, las pérdidas de erosión se transforman de toneladas por hectárea (Mg/ha) en espesor de suelo (horizonte A) perdido, utilizando su densidad aparente. Esta se estimó utilizando el modelo desarrollado por Fernández (1979), a partir de la composición granulométrica y el contenido de materia orgánica. Esta expresión de la erosión en espesor de horizonte A, permite relacionar la estimaciones realizadas con USLE/RUSLE con los grados de erosión codificados (cuadro 2).

Para ejemplificar el uso de este procedimiento se seleccionaron 17 suelos: 15 profundos y 2 superficiales, representativos de las unidades de la Carta de Reconocimiento a escala 1:1.000.000 y de los Grupos CONEAT que se mencionan en el cuadro 3.

Los suelos elegidos representan el 15,2% del total de unidades de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay y ocupan en su conjunto algo más de 5,5 millones de hectáreas o sea el 31,6% de la superficie del país. Por lo tanto, la muestra seleccionada posee una alta representatividad, no solamente de un punto de vista cuantitativo sino también cualitativo, ya que los suelos cubren una amplia gama de texturas y espesores del horizonte superficial, propiedades tomadas en particular consideración al evaluar las pérdidas de suelo por erosión. Aparte de ello, el conjunto incluye suelos de muy diversa aptitud ganadera y agrícola y abarca una amplia variación en propiedades químicas y físicas que influyen en la toma de decisiones por parte de los productores en cuanto al uso del suelo y a las prácticas de manejo a utilizar.

Las fuentes utilizadas para recopilar la información sobre los suelos fueron las siguientes. Las descripciones morfológicas y propiedades físicas y químicas relevantes de los suelos se obtuvieron de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, Tomo III y su Apéndice (MGAP, 1979), salvo el perfil # 9-CL que se obtuvo de Durán (1996). La correspondencia con el o los Grupos CONEAT de cada suelo seleccionado se obtuvo de MGAP (1994).

La estimación del ritmo de erosión se realizó para cada suelo considerado, en una o dos localidades con diferente erosividad de la lluvia cuando ello era pertinente, y tomando los valores de grado y longitud de la pendiente más frecuentes para cada tipo de suelo. Se consideraron varios usos del suelo alternativos, en los que se incluye desde campo natural hasta agricultura continua con baja tecnología, más un número de situaciones intermedias que comprenden diferentes rotaciones de cultivos y pasturas, uso de laboreo convencional o reducido o siembra directa y bosques artificiales.

Los sistemas de uso y manejo de suelos o tierras (SUT) considerados y los valores asignados de su Factor C en la USLE/RUSLE son los siguientes:

Sistema 1: Campo natural. Se utilizó en general un valor C de 0,009, determinado entre 1993 y 1997 en las par-

celas de escurrimiento de Palo a Pique, INIA-Treinta y Tres (García Préchac y Terra, cit. por García Préchac, 1998).

Sistema 2: Forestación artificial con eucaliptos. Se estimó un valor C de 0,006, para eucaliptos que alcanzaron el cierre del dosel (Denis y García Préchac, 1997).

Los sistemas que se definen seguidamente, agrícolas o agrícola ganaderos, e identificados con el número 3 como cifra inicial, incluyen en todos los casos agricultura de granos. Se diferencian entre sí por la inclusión o no de pasturas en rotación con los cultivos y por el tipo de laboreo utilizado: convencional, reducido (laboreo vertical, con cincl) o nulo (siembra directa). En algunos casos la diferencia la determina el nivel tecnológico empleado: bajo o medio a alto. El valor C adjudicado a cada sistema es estimado, salvo indicación expresa de determinación experimental.

Sistema 3.1: Rotación de 4 años, con 2 años de cultivos y 2 años de pasturas artificiales; laboreo convencional del suelo. Le corresponde un valor C de 0,10 a 0,11.

Sistema 3.2: Rotación de 5 años, similar a 3.1 pero más larga y conservacionista, con 2 años de cultivos y 3 años de pasturas; laboreo convencional. Le corresponde un valor C de 0,09.

Sistema 3.3: Rotación de 6 años, con 3 años de cultivos y 3 años de pasturas artificiales; laboreo vertical, no convencional. Le corresponde un valor C de 0,06 (valor determinado experimentalmente, Sawchik y Quintana, cit. por García Préchac, 1992).

Sistema 3.4: Rotación idéntica a 3.3 pero con siembra directa (sin laboreo). Le corresponde un valor C de 0,02 (valor determinado experimentalmente, Sawchik y Quintana, cit. por García Préchac, 1992).

Sistema 3.5.1: Agricultura continua, sin rotación con pasturas artificiales, con laboreo del suelo convencional y empleando una tecnología baja. Le corresponde un valor C de 0,3.

Sistema 3.5.2: Similar al 3.5.1, pero empleando una tecnología media. Le corresponde un valor C de 0,25 (determinado experimentalmente, García y Cardellino, 1984).

Sistema 3.6: Similar a 3.5.1 y 3.5.2 - agricultura continua - pero con laboreo vertical en vez de convencional. Le corresponde un valor C de 0,12 (determinado experimentalmente, Sawchik y Quintana, cit. por García Préchac, 1992).

Sistema 3.7: Similar a los tres anteriores, pero sin laboreo de ningún tipo el que se sustituye por la siembra directa. Le corresponde un valor C de 0,036 (determinado experimentalmente Sawchik y Quintana, cit. por García Préchac, 1992).

Los sistemas que se definen a continuación, identificados con el número 4 como cifra inicial, corresponden a explotaciones orientadas a la producción lechera e incluyen en términos generales pasturas artificiales, verdes y cultivos forrajeros para alimentación del ganado. Las diferencias entre ellos se establecen por la duración de la rotación, la siembra consociada o no de los cultivos, el tipo de laboreo utilizado y el nivel tecnológico empleado.

Sistema 4.1.1: Rotación de 3 años integrada por una secuencia verdeo - maíz para silo - pradera corta (2 años de

duración); la pradera se instala con el verdeo, el laboreo es convencional y se asume el empleo de una tecnología baja. Se le estimó un valor C de 0,196.

Sistema 4.1.2: Rotación idéntica a 4.1.1, pero con empleo de tecnología media al alta. Se le estimó un valor C de 0,174.

Sistema 4.2.1: Rotación con la secuencia mencionada para los sistemas 4.1.1 y 4.1.2, pero con una pradera de 4 años de duración; el laboreo es convencional y se asume el empleo de una tecnología baja. Se le estimó un valor C de 0,12.

Sistema 4.2.2: Rotación idéntica a 4.2.1, pero con utilización de una tecnología media a alta. Se le estimó un valor C de 0,10.

Sistema 4.3: Rotación de 3 años similar a la definida en 4.1.2 (verdeo - maíz para silo - pradera corta), pero con laboreo reducido en vez de convencional; se asume que el verdeo dejó 60% de suelo cubierto. El valor C se estimó en 0,053.

Sistema 4.4: Similar a 4.3 pero sembrando el verdeo consociado a la pradera y haciendo siembra directa en el caso del maíz. Se le estimó un valor C de 0,034.

Los sistemas definidos seguidamente y que se identifican por el número 5 como cifra inicial, corresponden a rotaciones de cultivos intensivos con pasturas artificiales y verdes. El cultivo incluido en todas ellas es el de papa, tanto de verano como de otoño y su utilización es mucho más frecuente en los suelos de la unidad Tala - Rodríguez que en otras áreas. En dos casos se plantea la inclusión de trigo, además de papa, en la rotación, y en otro caso el sistema es de agricultura continua, sin incluir pasturas.

Sistema 5.1.1: Rotación de 6 años con una secuencia de papa de otoño - papa de verano - trigo consociado - pradera de 4 años; el laboreo es convencional. Le estimamos un valor C de 0,104.

Sistema 5.1.2: Similar a la 5.1.1, pero sin incluir papa de otoño, por lo que es más corta que aquella (5 años). La secuencia es por lo tanto papa de verano - trigo consociado - pradera de 4 años. Le estimamos un valor C de 0,068.

Sistema 5.2: Comprende una secuencia corta (3 años) de cultivos y verdeo de invierno: papa de otoño - raiigrás - trébol rojo. Le estimamos un valor C de 0,107.

Sistema 6: Este es un sistema de producción que durante muchos años se desarrolló en el noreste de Canelones, en predios de tamaño medio y chico, con mínima incorporación de tecnología, resultando muy agresivo para el uso sustentable del suelo. Consiste de maíz continuo, no tecnificado y con laboreo convencional, poco o nada conservacionista. Su uso es característico de la unidad Tala - Rodríguez. Le corresponde un valor C de 0,32 (determinado experimentalmente, García y Cardellino, 1984).

Los sistemas que se describen seguidamente, identificados por el número 7 como cifra inicial, solamente se consideran de aplicación en los suelos profundos de la unidad Itapebí - Tres Arboles. Su característica es la inclusión de arroz como único componente agrícola y responde a una realidad de la zona norte del país, en la que se está extendiendo rápidamente dicho cultivo en un área no tradicional y en topografía de laderas y no de planicies como es el

Cuadro 3

Nº de perfil y tipo de suelo	Unidad de la Carta de Reconocimiento	Grupo/s CONEAT
L 27-4 VRL	Tala - Rodríguez	10.8a, 10.8b
L 27-14 BET	Tala - Rodríguez	10.8a, 10.8b
O 17-6 BET	Young	10.15, 11.4, 11.5, 11.6
N 21-3 BET	Bequeló	11.5
O 11-3 BST	Chapicuy	9.2/9.6, 9.41, 9.42
M 13-1 VH	Itapebí-Tres Arboles	12.11, 12.12, 12.13, 12.21, 12.22
M 13-4 BET	Itapebí-Tres Arboles	12.11, 12.12, 12.13, 12.21, 12.22
F 23-42 AgSM	Alfárez	10.7
E 20-29 AgSM	Vergara	4.1
J 12-11 LvOA	Tacuarembó	7.32
C 14-33 BET	Los Mimbres	6.1/3, 6.16
H 22-3 BST	Montecoral	10.3, 10.13, 10.14
E 27-2 AgSM	San Carlos	4.2
P 15-2 BET	San Manuel	10.9, 11.3
H 8-6 AcOT	Rivera	7.31
# 9-CL BDH	Sierra Polanco	2.12, 2.14
M 13-6 LtEM	C. de Haedo - P. de los Toros	1.10a, 1.10b, 1.11b, 1.12, 1.20

caso de la zona arroceras tradicional del este. En todos los casos se asume un nivel tecnológico medio o alto, que es la situación normal del cultivo de arroz en el Uruguay.

Sistema 7.1: Rotación de 2 años de arroz y 4 de pasturas artificiales, con laboreo convencional. Le estimamos un valor C de 0,072.

Sistema 7.2: Rotación más corta que la anterior, con 1 año de arroz seguido por 4 de pasturas, también con laboreo convencional. Le estimamos un valor C de 0,043.

Sistema 7.3: Sistema exclusivamente agrícola, con cultivo continuo de arroz implantado por siembra directa sobre el suelo cubierto por 70% de residuos a la siembra. Le estimamos un valor C de 0,055.

Para definir los usos considerados en cada caso se seleccionaron aquellos usos efectivamente empleados en el área de ocurrencia de cada suelo o alguno alternativo, no necesariamente difundido en la actualidad pero de difusión futura factible y/o recomendable.

Se calculó el valor medio anual de pérdida de suelo, expresada en espesor de horizonte A perdido, para cada combinación suelo (y su topografía)-localidad-uso y manejo. Con dicha información se calculó el número de años requerido para que cada combinación cambie un grado su estado de erosión actual, de acuerdo con lo establecido en el cuadro 2.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro 4 se presentan los cambios en los grados de erosión codificados de acuerdo a lo establecido en el cuadro 2 y el cambio porcentual del IP, según MGAP (1994). La figura 1 muestra la regresión y correlación lineal entre ambas variables. Como se observa, la correla-

ción es alta, el origen de la regresión está próximo a cero y el coeficiente lineal indica un cambio de prácticamente 21% en el IP por cada grado de cambio en el estado de erosión del suelo. Esto demuestra que la asignación de IP diferenciales por grado de erosión, en los 11 casos ya indicados (MGAP, 1994), fue realizada con un criterio uniforme y coherente por parte de los Técnicos participantes. En cuanto al primer objetivo del presente trabajo, significa que existe una buena relación cuantitativa entre erosión codificada a partir del porcentaje del horizonte A perdido y el IP, que hace posible estimar en términos de IP la pérdida de productividad debida a erosión.

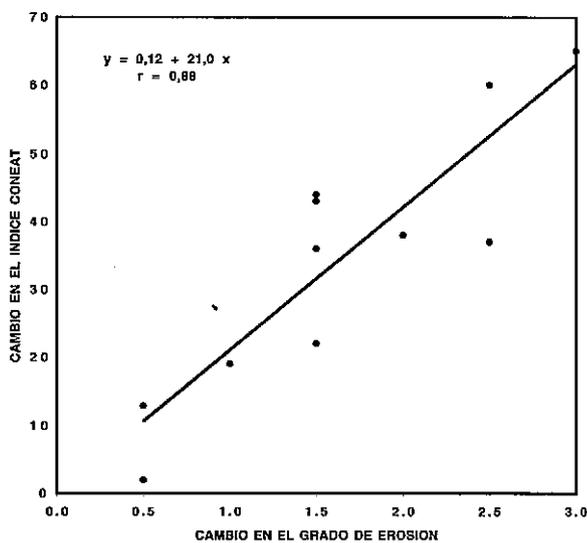
Cuadro 4. Cambios del grado de erosión y/o degradación y disminución porcentual del índice de productividad

CATEGORIA DE ESTADO DE EROSION Y SU CODIFICACION 0: NULA; 1: LIGERA; 2: MODERADA; 3: SEVERA; 4: MUY SEVERA		
CASO CONEAT	CAMBIO DE GRADO DE EROSION	CAMBIO DEL INDICE CONEAT
1	1,5	43
2	0,5	13
3	2,5	60
4	1,5	36
5	0,5	2
6	2	38
7	1,5	22
8	2,5	37
9	1	19
10	1,5	44
11	3	65

Cuadro 5. Granulometría, contenido de materia orgánica, densidad aparente y masa de horizonte superficial por hectárea de los suelos.

Suelo y unidad de la Carta de Suelos del Uruguay (1:1 000 000)	GRANULOMETRIA			Materia orgánica	Densidad aparente Mg/m ³	Masa del hor. A Mg/cm
	ARENA	LIMO	ARCILLA			
	----- % en peso -----					
TI-Rd, Vrl, I2-74	14,5	49,2	36,6	6,5	1,09	109,2
T-Rd, Bet, I 27-14	21,6	45,5	33	5,2	1,18	117,6
Yg, Bet, O 17-6	38,9	26,8	34,3	5,6	1,19	118,9
Bq, Bet, N 21-3	30,7	31,4	37,9	6,9	1,11	110,8
Ch, Bst, O 11-3	78,2	3,6	18,2	2,5	1,41	141,3
I-TA, Vh, M 13-1	6,8	36,7	56,5	8,7	0,98	98,2
I-TA, Bet, M 13-4	13,1	46,3	40,6	6,9	1,08	107,8
Af, Agsm, F 23-42	20,1	58,5	21,4	4,8	1,19	118,9
Ve, Agsm, E 20-29	32,7	49,8	17,5	3,1	1,30	129,9
Ta, Loa, J 12-11	76,4	12,8	10,8	2	1,43	143,1
LM, Bet, C 14-33	47,9	25	27,1	5,5	1,21	120,6
Mc, Bsl, H 22-3	45	36,6	18,4	3	1,33	132,7
SCa, Agsma, E 27-2	29,1	51,4	19,5	3,3	1,28	128,3
SM, Bet, P 15-2	35,1	29,7	35,2	6,8	1,12	111,9
Rv, Aot, H 8-6	88,5	2,9	8,6	0,8	1,52	151,5
CH-PT, LtEM, M 13-6	39,0	32,1	28,9	9,0	1,01	100,7
SP, BDH, # 9-CL	53,2	20,8	26,0	6,0	1,19	118,8

En el cuadro 5 se presentan las estimaciones de densidad aparente para el horizonte superficial de cada suelo considerado, según la metodología expuesta por Fernández (1979), y la masa por hectárea de cada centímetro de espesor del mismo. También se presenta la información analítica a partir de la cual se realizaron las estimaciones de densidad aparente.

**Figura 1.** Relación entre los cambio en el grado de erosión y en el índice CONEAT.

En el cuadro 6 se indican el espesor normal del horizonte A de los suelos, el espesor de dicho horizonte en cada fase de erosión y la siguiente información necesaria para realizar estimaciones con USLE/RUSLE: el factor K, el grado y longitud (en proyección horizontal) de la pendiente dominante en que ocurre cada suelo, la o las localidades en las que se hicieron estimaciones de erosión y los valores del factor R en cada localidad (R1 y R2) y los valores del factor LS correspondientes a baja y moderada relación entre erosión encauzada y no encauzada. La primera situación es típica de suelos consolidados bajo vegetación natural o siembra directa (LS1) y la segunda corresponde a suelos laboreados (LS2), según Renard et al (USDA-ARS Agricultural Handbook N° 703, no publicado).

Debe destacarse que las dos columnas situadas en el extremo derecho del cuadro 6 (Productos R1K.LS2 y R2K.LS2) representan la pérdida potencial máxima por erosión (en Mg/ha) que pueden sufrir los suelos considerados cuando se los mantiene libres de vegetación en forma continua y laboreados en el sentido de la pendiente. Las cifras son obviamente muy altas, pero debe tenerse presente que tales pérdidas son teóricas, ya que aún los sistemas productivos menos avanzados y más agresivos del suelo en cuanto a favorecer su erosión, no incluyen jamás el barbecho permanente y laboreado en favor de la pendiente. Las pérdidas reales en tales situaciones son mucho menores y se corresponden con las incluidas en los cuadros 7 y 8, para el sistema de uso y manejo pertinente.

Cuadro 6

Suelo y unidad de la Carta de Suelos del Uruguay (1:1 000 000)	Espesor normal (cm)	Espesor del horizonte A				Factor K	Factor Pendiente		Localidad		Factor R		Producto LS		Producto R.K.L.S según localidad	
		Espesor según fases para erosión					S (%)	L hor.	Localidad 1	Localidad 2	R 1	R 2	LS 1	LS 2	R1.KLS2	R2.KLS2
		12.5% *	37.5% *	62.5% *	87.5% *											
Tl-Rd, Vrl, I2-74	15	13	9	6	2	0,23	3,0	100	Montevideo	Estanzuela	382	532	0,47	0,57	50,08	69,74
T-Rd, Bet, I 27-14	25	22	16	9	3	0,27	2,0	125	Montevideo	Estanzuela	382	532	0,31	0,38	38,72	53,99
Yg, Bet, O 17-6	18	16	11	7	2	0,19	3,5	150	P. de los Toros		638		0,60	0,78	94,40	
Bq, Bet, N 21-3	24	21	15	9	3	0,18	5,0	100	Gualeduaychú		527		0,83	1,04	98,92	
Ch, Bst, O 11-3	32	28	20	12	4	0,24	4,5	125	Paysandú		659		0,78	1,00	158,12	
I-TA, Vh, M 13-1	69	60	43	26	9	0,12	2,0	150	Concordia	Artigas	671	881	0,32	0,39	30,30	39,32
I-TA, Bet, M 13-4	19	17	12	7	2	0,21	3,0	125	Concordia	Artigas	671	881	0,49	0,61	85,50	112,08
Af, Agsm, F 23-42	16	14	10	6	2	0,48	3,5	175	Treinta y Tres		462		0,62	0,82	181,92	
Ve, Agsm, E 20-29	26	23	16	10	3	0,50	3,5	175	Treinta y Tres		462		0,62	0,82	189,50	
Ta, Loa, J 12-11	53	46	33	20	7	0,38	9,0	75	Tacuarembó		650		1,53	1,86	458,38	
LM, Bet, C 14-33	20	18	13	8	3	0,18	8,0	100	P. de los Toros		638		1,44	1,84	211,86	
Mc, Bsl, H 22-3	25	22	16	9	3	0,45	2,0	125	Estanzuela	P. de los Toros	532	638	0,31	0,38	89,90	107,78
SCa, Agsma, E 27-2	24	21	15	9	3	0,56	6,0	125	Montevideo	Treinta y Tres	382	463	1,09	1,43	306,57	370,80
SM, Bet, P 15-2	25	22	16	9	3	0,18	4,5	100	Paysandú		659		0,74	0,92	108,89	
Rv, Aot, H 8-6	90	79	56	34	11	0,22	9,0	75	Rivera		934		1,51	1,56	381,70	
CH-PT, LEM, M 13-6	15	13	9	6	2	0,23	6,0	100	Concordia	Artigas	671	861	1,03		158,96	206,71
SP, BDH, # 9-CL	25	22	16	9	3	0,53	10,0	75	Treinta y Tres		462		1,80		440,75	

Cuadro 7

Suelo y unidad de la Carta de Suelos del Uruguay (1:1 000 000)	Pérdida de suelo, Mg/ha.año, con P = 1 y R 1																						
	Sistemas de Uso y Manejo del Suelo																						
	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5.1	3.5.2	3.6	3.7	4.1.1	4.1.2	4.2.1	4.2.2	4.3	4.4	5.1.1	5.1.2	5.2	6	7.1	7.2	7.3
TI-Rd, Vrl, I2-74	0,4	0,2	5,2	4,5	3,0	0,8	15,0	12,5	6,0	1,5	9,8	8,7	6,0	5,0	2,65	1,4	5,2	3,4	5,4	16,0			
TI-Rd, Bet, I 27-14	0,4	0,2	3,9	3,5	2,3	0,6	11,6	9,7	4,6	1,1	7,6	6,7	4,6	3,9	1,7	1,1	4,0	2,6	4,1	12,4			
Yg, Bet, O 17-6	0,9		9,4	8,5	5,7	1,5	28,3	23,6	11,3	2,6	18,5	16,4	11,3	9,4	3,8	2,5				30,2			
Bq, Bet, N 21-3	0,9		9,9	8,9	5,9	1,6	29,7	24,7	11,9	2,8	19,4	17,2	11,9	9,9	4,2	2,7				31,7			
Ch, Bst, O 11-3	1,4	1,0	15,8	14,2	9,5	2,5	47,4	39,5	19,0	4,4	31,0	27,5	19,0	15,8	6,5	4,2				50,6			
I-TA, Vh, M 13-1	0,3		3,0	2,7	1,8	0,5	9,1	7,6	3,6	0,9	5,9	5,3	3,6	3,0	1,3	0,8				9,7	1,1	0,7	0,9
I-TA, Bet, M 13-4	0,8		8,6	7,7	5,1	1,4	25,7	21,4	10,3	2,5	16,8	14,9	10,3	8,6	3,6	2,3				27,4	2,5	1,2	1,5
Af, Agsm, F 23-42	1,6	1,1	18,2	16,4	10,9	2,8	54,6	45,5	21,8	5,0	35,7	31,7	21,8	18,2	7,3	4,7				58,2			
Ve, Agsm, E 20-29	1,7	1,1									37,1	33,0	22,7	19,0	7,6	4,9				60,6			
Ta, Loa, J 12-11	4,1	2,8									89,8	79,8	55,0	45,8	20,0	12,8	47,7	31,2	49,0	146,7			
LM, Bet, C 14-33	1,9	1,3	21,2	19,1	12,7	3,3	63,6	53,0	25,4	6,0	41,5	36,9	25,4	21,2	8,8	5,6				67,8			
Mc, Bsl, H 22-3	0,8	0,5	9,0	8,1	5,4	1,5	27,0	22,5	10,8	2,6	17,6	15,6	10,8	9,0	3,9	2,5				28,8			
SCa, Agsma, E 27-2	2,8	1,8									60,1	53,3	36,8	30,7	12,4	7,9				98,1			
SM, Bet, P 15-2	1,0		10,9	9,8	6,5	1,8	32,7	27,2	13,1	3,2	21,3	18,9	13,1	10,9	4,6	3,0				34,8			
Rv, Aot, H 8-6	3,4	2,3									74,8	66,4	45,8	38,2	19,6	12,6	39,7	26,0	40,8	122,1			
CH-PT, LIEM, M 13-6	1,4	1,0																					
SP, BDH, # 9-CL	4,0	2,6																					

Cuadro 8

Suelo y unidad de la Carta de Suelos del Uruguay (1:1 000 000)	Pérdida de suelo, Mg/ha.año, con P = 1 y R = 2																						
	Sistemas de Uso y Manejo del Suelo																						
	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5.1	3.5.2	3.6	3.7	4.1.1	4.1.2	4.2.1	4.2.2	4.3	4.4	5.1.1	5.1.2	5.2	6	7.1	7.2	7.3
TI-Rd, Vrl, I2-74	0,5	0,34	7,32	6,3	4,2	1,1	20,9	17,4	8,4	2,1	13,7	12,1	8,4	7,0	3,7	1,9	7,2	4,7	7,5	22,3			
TI-Rd, Bet, I 27-14	0,5	0,1	5,4	4,9	3,2	0,9	16,2	13,5	6,5	1,6	10,6	9,4	6,5	5,4	2,3	1,5	5,6	3,7	5,8	17,3			
I-TA, Vh, M 13-1	0,4		3,9	3,5	2,4	0,6	11,8	9,8	4,7	1,2	7,7	6,8	4,7	3,9	1,7	1,1				12,6	1,5	0,9	1,1
I-TA, Bet, M 13-4	1,0		11,2	10,1	6,7	1,8	33,6	28,0	13,4	3,2	22,0	19,5	13,4	11,2	4,8	3,1	11,7	7,6	12,0	35,9	2,6	1,6	2,0
Mc, Bsl, H 22-3	1,0	0,2	10,8	9,7	6,5	1,8	32,3	26,9	12,9	3,2	21,1	18,8	12,9	10,8	4,7	3,0				34,5			
SCa, Agsma, E 27-2	3,3	0,7									10,2	72,7	64,5	44,5	37,1	15,0	9,6			118,7			
CH-PT, LIEM, M 13-6	1,9	0,4																					

En dichos cuadros se presentan las estimaciones de erosión para cada combinación suelo-localidad-uso y manejo bajo dos valores (localidades) del factor R (erosividad de las lluvias), cuando corresponde por la extensión geográfica del suelo en cuestión. En dichas tablas los datos se obtuvieron con el valor del factor P (práctica mecánica de apoyo) igual a 1, lo que significa laboreo a favor de la pendiente. Si el laboreo se realizara en contorno, el valor de P sería 0,5, por lo que las estimaciones de erosión serían la mitad de las que se presentan en los cuadros 7 y 8.

En los cuadros 9 y 10, se presentan los resultados de las estimaciones de tiempo necesario (número de años) para pasar de un grado de erosión al grado mayor siguiente, es decir, para perder 21% de IP. Es decir, las estimaciones de pérdida promedio anual de masa de suelo presentadas en los cuadros 7 y 8 son transformadas en el tiempo necesario para que a ese ritmo de erosión se pierda el espesor de suelo que determina el cambio de un grado de estado de erosión. Estas estimaciones corresponden también a $P = 1$; con $P = 0,5$, su valor sería el doble.

En el cuadro 11 se muestran las unidades del mapa 1:1 000 000 de las que son característicos los suelos considerados, sus índices CONEAT calculados como la media ponderada de los índices de los grupos CONEAT representativos de aquellas y los índices que alcanzarían en cada grado de erosión.

Cuadro 11

UNIDAD DE SUELOS	INDICE CONEAT	INDICE CONEAT EN GRADO DE EROSION:			
		Ligero	Moderado	Severo	Muy sev.
Tl - Rd	184*	184	145	103	81
Yg	205	162	136	107	85
Bq	228	180	142	112	88
Ch	92	73	58	46	36
I - TA	155	122	96	76	60
Af	131	103	81	64	51
Ve	79	62	49	39	31
Ta	88	70	55	43	34
LM	134	106	83	66	52
Mc	122	97	76	60	48
SC	61	48	38	30	24
SM	149	118	93	73	58
Rv	66	52	41	33	26
CH -CPT	35	28	22	17	14
SP	77	61	48	38	30

* El índice CONEAT de la unidad Tl - Rd coincide con el del grado de erosión ligera porque esta unidad no presenta grado de erosión nula.

Las estimaciones realizadas permiten realizar una importante comparación entre sistemas de uso y manejo y niveles tecnológicos utilizados y observar como varía su efecto relativo entre suelos y localizaciones geográficas, en términos de tiempo para perder el 21% del IP CONEAT. Sin embargo, no es el objetivo de este trabajo realizar dichas comparaciones sino ejemplificar la potencialidad del procedimiento propuesto para expresar estimaciones de erosión en términos de IP CONEAT.

CONCLUSIONES

Se encontró que existe una buena correlación entre el grado de erosión de las subunidades CONEAT con erosión pasada diferencial, codificado en este trabajo, y el cambio porcentual del IP, asignado por MGAP(1994). Dicho cambio es de 21% por cada unidad codificada de cambio en el grado de erosión. La transformación del cambio en el grado de erosión en masa y espesor de suelo perdido, por el procedimiento seguido en este trabajo, se propone como una metodología objetiva de evaluar el efecto del ritmo de erosión estimado con la USLE/RUSLE adaptada a las condiciones de Uruguay (u otro modelo alternativo que sea calibrado y validado en Uruguay), sobre la productividad del suelo expresada en términos del IP CONEAT. Eventualmente, dicha pérdida de IP puede transformarse en pérdida de valor venal de la tierra, si estudios posteriores al presente demuestran que son válidas relaciones como las encontradas por MGAP (1987) y las actualizan.

La aplicación del procedimiento propuesto a los 17 suelos seleccionados en combinación con las localizaciones geográficas de mayor ocurrencia y sus condiciones topográficas, bajo todas las alternativas de uso y manejo seleccionadas, demuestra su potencial utilidad para guiar la toma de decisiones sobre el uso y manejo de los suelos del país, a escalas que lleguen hasta el nivel predial, y evaluar el impacto de dicha toma de decisiones en términos de productividad CONEAT (IP).

BIBLIOGRAFIA

- DENIS, V. y GARCÍA PRÉCHAC F. 1997. Estimación del Factor C de la ecuación universal de pérdida de suelo en la instalación de montes de rendimiento de eucaliptos. Agrociencia, Rev. Científica de la Fac. de Agronomía, I(1): 30-37.
- DURAN, A. 1985. Los suelos del Uruguay. Hemisferio Sur, Montevideo, 398 p.
- DURAN, A. 1996 Caracterización, génesis y clasificación de suelos de la región serrana del Uruguay. Facultad de Agronomía - Cátedra de Edafología (Informe para CSIC, Universidad de la República).
- FERNANDEZ, C. J. 1979. Estimaciones de densidad aparente, retención de agua a Tensiones de $-1/3$ y -15 bar y agua disponible en el suelo a partir de la composición granulométrica y

- porcentaje de materia orgánica, 2da. Reunión Técnica de la Fac. de Agronomía, p:2.
- GARCIA PRECHAC, F. 1982. Predicción de pérdidas de suelo por erosión hídrica. Fac. de Agronomía, 57p.
- GARCIA PRECHAC, F. y CARDELLINO, G. 1984. Dinámica del agua y pérdidas de suelo en 5 Sistemas de uso y manejo: II Avance de resultados, 7ma. Reunión Técnica de la Fac. de Agronomía, p: 51-52.
- GARCIA PRECHAC, F. 1992. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos, 3ra. Aproximación, INIA-Serie Técnica No. 26, 63 p.
- GARCIA PRECHAC, F. y CLERICI, C. 1996. Utilización del modelo USLE-RUSLE en Uruguay, Anales en CD-ROM del XIII Cong. Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 4-8 de agosto, Aguas de Lindóia, SP, Brasil, Soc. Latinoamericana de la Ciencia del Suelo.
- GARCIA PRECHAC, F.; CLERICI, C. y DENIS, V. (1997). Actualización de la información para el uso del modelo USLE-RUSLE en Uruguay, In García Préchac, F. (Ed.) Curso de Actualización sobre Manejo y Conservación de suelos, Fac. de Agronomía, Un. De Ed. Perm., p:1-10.
- GARCIA PRECHAC, F. 1998. Informe Final del Proyecto INIA-Facultad de Agronomía BID-CONICYT No. 191/92, Manejo y Conservación de Suelos.
- HOEHN, J.P. 1990. Hacia un sistema uruguayo de contabilidad ambiental: una aplicación para la pérdida de suelos agrícolas (no publicado).
- MGAP 1979. Indices de productividad - Grupos CONEAT, MGAP/CONEAT, Montevideo.
- MGAP 1987. Valores venales de la tierra - Aproximación a sus variables explicativas, MGAP/DGRNR/CONEAT, Montevideo.
- MGAP 1994. Indices de productividad - Grupos CONEAT, MGAP/DGRNR/CONEAT, Montevideo.
- PIERCE, F.J. 1991. Erosion productivity impact prediction, In Lal, R. y Pierce, F.J. (Eds.) Soil management for sustainability, p: 35-54.
- PIERCE, F.J. y LAL, R. 1994. Monitoring soil erosion impact on crop productivity, In Lal, R. (Ed.) Soil erosion research methods, second ed.; p: 235-264.
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A. y PORTER, J.K. 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation, JSWC 46(1): 30-33.
- RENARD, K.G.; LAFLEN, J.M.; FOSTER, G.R. y MCCOOL, D.K. 1994. The revised Universal Soil Loss Equation, In Lal, R. (Ed.) Soil erosion research methods, second ed., p: 105-126.
- SSSA (Soil Sci. Soc. of Am.) 1975. Glossary of soil science terms, Madison, WI.
- SCSA (Soil Cons. Soc. of Am) 1985. Resource conservation glossary, Third Ed., Ankeny, IA.
- WILLIAMS, J.R. y RENARD, K.G. 1985. Asscsments of soil erosion and crop productivity with process models (EPIC), In Follet, R.F. y Stewart, B.A. (Eds.) Soil erosion and crop productivity, ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, p: 68-105.
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning, USDA Agric. Handbook No. 537, 58 p.