

CALIDAD DEL SUELO

Se trata de un concepto desarrollado durante los años 90, al intentarse aplicar al suelo una conceptualización y monitoreo semejantes a los usados para el aire y el agua (Letey *et al.*, 2003). Estos autores ubican su mayor popularización a partir del informe producido en EE.UU. "Calidad de suelos y aguas: Una agenda para la agricultura" (National Research Council, 1993). La definición la atribuyen a Larson y Pierce (1991 y 1994): la capacidad del suelo de funcionar dentro de su ecosistema y de interactuar positivamente con el ambiente exterior al mismo. Luego, la Soil Science Society of America alteró un poco esta definición: la capacidad de un tipo específico de suelo de funcionar, dentro de los límites de su ecosistema natural o manejado, y de mantener la productividad vegetal y animal, de mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y de mantener las condiciones de habitación y de salud humanas (Allan *et al.*, 1995).

Las definiciones nos hacen ver que el concepto de calidad de suelo intenta abarcar todas las funciones que el mismo debe cumplir, además de la producción vegetal, que es la que tradicionalmente ha sido el centro de la atención agronómica. Este concepto abarca, además, todo el funcionamiento del suelo dentro del ecosistema del que forma parte, incluyendo lo relativo a su contribución con las saludes de plantas, animales y desde luego, humanos. Por lo tanto, si es difícil expresar cuantitativamente el efecto de la erosión y degradación en términos de producción vegetal (ver Pierce, 1991), o es aún más hacerlo en términos de la multiplicidad de funciones que involucra el concepto de calidad de suelos, a veces también definido como salud de suelos (Doran *et al.*, 1999).

Existe una fuerte controversia en la comunidad de los que trabajan en manejo y conservación de suelos, acerca de cómo objetivar o medir calidad de suelos. La misma ha sido motivo de notas editoriales simultáneas en el *Journal of Soil and Water Conservation* (Karlen *et al.*, 2003 y Letey *et al.*, 2003), con otra introductoria del debate (Delgado y Cox, 2003). Según estos últimos, la posición de los representados por Karlen *et al.* aboga por el desarrollo de índices de calidad de suelos basados en sus propiedades intrínsecas, algunas de ellas basadas en interpretaciones cualitativas, que los representados por Letey *et al.* consideran subjetivas. Estos proponen no seguir dicho camino y usar la información técnica disponible para motivar y educar a los agricultores acerca de prácticas de manejo que combinen los objetivos de alta productividad,

bajo impacto ambiental y sostenibilidad del recurso a largo plazo; algunos de estos autores, en otras publicaciones (Sojka y Upchurch, 1999; Sojka *et al.*, 2003) afirman que el objetivo debe ser el "manejo de suelos de calidad" y no "calidad de suelos". Entonces, básicamente la controversia entre ambos grupos es en la forma de aproximación y la metodología a aplicar para alcanzar el objetivo que les es común: el desarrollo e implementación de las mejores prácticas de manejo de suelos y aguas, para simultáneamente hacer sostenible la productividad agrícola, mejorar la calidad ambiental y proteger los ecosistemas.

3.2. EFECTOS DE LA EROSIÓN

La degradación de los suelos determinada por la erosión acelerada impacta negativamente sobre su productividad y su participación ambiental, reguladora de la calidad del agua y el aire (Lal *et al.*, 1999); es decir, la erosión deteriora la calidad del suelo tal como se la definió antes.

3.2.1. Efecto de la erosión sobre la productividad

Existen numerosos esfuerzos realizados en EE.UU. para cuantificar la pérdida de productividad vegetal, principalmente de cultivos, debida a erosión (Pierce, 1991. Olson *et al.*, 1999). En las extensas revisiones de estos trabajos se discuten todas las metodologías empleadas y sus limitaciones; el primero lista 56 trabajos publicados realizados entre 1936 y 1980. Ambos trabajos discuten también la utilización de modelos que permiten hacer predicciones de pérdida de productividad; el primero se refiere a la experiencia de los 80 con EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator, Williams *et al.*, 1985) y el segundo vuelve a referirse al mismo modelo y a otros posteriores. Las principales conclusiones de los experimentos, según Pierce, se resumen como sigue:

- 1) La mayoría de los trabajos se realizaron con potenciales de producción menores a los actuales y durante pocos años. La contribución del suelo al rendimiento de los cultivos ha disminuido con el desarrollo de la nueva tecnología.

- 2) En muchos casos el aumento del uso de los insumos fue suficiente para volver la productividad al nivel de la del suelo no erosionado. Sin embargo, los siguientes factores limitaron lo anterior: alta resistencia mecánica, alta saturación en Al, bajo pH, disminución de la capacidad de retener agua disponible, alto contenido de arcilla y arraigamiento limitado por presencia de roca consolidada.
- 3) Cuando se usó poca o ninguna fertilización, los rendimientos estuvieron altamente relacionados a la profundidad del horizonte A.
- 4) Existe relación entre rendimientos y profundidad total del suelo, principalmente por mayor retención de agua disponible.
- 5) La permanencia de la pérdida de productividad en los estudios es incierta. Depende del tipo de suelo, utilización de insumos y rotación o sistema de producción usado.
- 6) Es difícil encontrar (en EE.UU.) sitios «no erosionados», por lo que es difícil tener una referencia para evaluar la productividad perdida.
- 7) Se han ignorado otros efectos de la erosión adicionales a la productividad de una parcela, como los provocados por surcos y cárcavas, efectos sobre otras áreas como las que reciben sedimentos dañando cultivos y aumentando la productividad futura de dicha área.
- 8) De acuerdo con el modelo conceptual que propone el autor (ver fig. 3.1), en algunos suelos muy fértiles y profundos podría transcurrir mucho tiempo desde que comience la erosión acelerada para que se manifiesten efectos medibles en la productividad.
- 9) Los estudios, en general, han ignorado la variabilidad espacial.

Sobre el uso de modelos ambos trabajos son contestes en que su principal limitante es la falta de mayor conocimiento y datos sobre todos los complejos procesos que involucran no solo la simulación de los cambios de las propiedades de los suelos determinadas por la erosión, sino también su integración en los modelos de crecimiento de cultivos. También se indica que la disponibilidad de buenas bases de datos experimentales para validación y calibración existe en pocos suelos y condiciones ambientales. Pero se reconoce el valor de los modelos en cuanto permitir la integración dinámica de información, la visualización de necesidades de nuevo conocimiento experimental y de la comprensión y cuantifica-

Cuadro 3.1. Valores promedio de los 15 cm superficiales de tres suelos con horizonte B, en tres fases de erosión (Schertz *et al.*, 1985).

Serie de suelo	Fase de erosión	Arcilla %	Materia orgánica %	Fósforo kg/ha	Agua disponible en todo el <i>solum</i> (mm)
Corwin	Ligera	20,8	3,03	69,0	129,2
Corwin	Moderada	19,6	2,51	68,1	97,7
Corwin	Severa	23,0	1,86	45,6	66,3
Miami	Ligera	15,4	1,89	106,4	161,0
Miami	Moderada	18,1	1,64	95,5	114,7
Miami	Severa	22,1	1,51	76,4	47,6
Morley	Ligera	18,6	1,91	90,9	73,8
Morley	Moderada	23,0	1,76	74,3	62,1
Morley	Severa	28,4	1,6	56,4	36,2

* En el cuadro 3.6 se presenta una aproximación cuantitativa que define estas fases por la proporción del horizonte A perdido: Ligera, menos del 25%; Moderada, 25-50%, Severa, 50-75%; Muy Severa, 75-100%.

ción de procesos, así como la exploración de posibles escenarios futuros para la toma de decisiones informadas.

El trabajo de Schertz *et al.* (1985) es un buen ejemplo de los cambios más importantes de propiedades del suelo determinados por el proceso de erosión (cuadro 3.1)

Se observa que la erosión causa:

- Incremento de la arcilla en la superficie (B mezclado).
- Reducción de materia orgánica y nutrientes del horizonte Ap.
- Peor estructura y consistencia de la superficie (menos materia orgánica y más arcilla).
- Menor capacidad de retener agua disponible para las plantas.

Es conveniente aquí aclarar que el proceso de erosión es selectivo en cuanto al tamaño de las partículas removidas de la superficie del suelo. Son preferentemente más removidas las partículas más finas y se

Cuadro 3.2. Cambios en la composición granulométrica de la capa arable (20 cm) durante un ciclo de cultivo en el que ocurrieron eventos erosivos, con manejos contrastantes en cuanto a riesgo de erosión (Maidalena, 1994).

Fracción granulométrica	Siembra directa	Laboreo convencional	Significación estadística
Arena %	15	16	5%
Arcilla %	29	26	5%

produce una concentración residual de partículas más gruesas en la superficie del suelo que permanece in situ (cuadro 3.2). En las observaciones realizadas sobre los resultados del cuadro 3.1, la primera obedece a que con magnitudes de erosión importante que reducen el espesor del horizonte A, el laboreo alcanza la parte superior del horizonte B, mezclándolo con el A aumentando su contenido de arcilla, contrarrestando la selectividad de remoción y transporte de las partículas más finas demostrada con algunos eventos erosivos (cuadro 3.2).

Las consecuencias productivas sobre los rendimientos de maíz y soja por efecto de la erosión se presentan en el cuadro 3.3. Se observa, en general, la pérdida de rendimiento de grano en ambos cultivos. También, que el potencial de rendimiento y su afectación por la erosión interaccionan marcadamente con la variación climática interanual, que es diferente en las diferentes localidades donde se encuentran los diferentes suelos. Este es uno de los problemas de los resultados experimentales sobre el efecto de la erosión en la productividad, ya que a veces las comparaciones entre fases de un mismo suelo no estaban en la misma localidad (Olson *et al.*, 1999).

En un estudio realizado en 1990 sobre un Hapludalfe Típico, Chenger y Lal (1995), usando la técnica de regresión múltiple por stepwise, encontraron un $R^2 = 0,97$ entre el rendimiento de maíz y las variables contenido de Carbono Orgánico, diámetro medio de los agregados, Densidad Aparente, infiltración Acumulada y contenido de Arcilla. Mientras que en 1993 Fashnestock *et al.* (1995) encontraron un $R^2 = 0,38$ entre rendimiento de maíz con contenido de Carbono Orgánico, Capacidad de retención de Agua Disponible, pH y disponibilidad de P. Es decir, las propiedades del suelo más asociadas con la productividad de un cultivo va-

Cuadro 3.3. Rendimientos de maíz y soja (Mg/ha) en las 3 fases de erosión de cada suelo durante 3 años (Schertz *et al.*, 1985).

Suelo	Fase de erosión	1981 Maíz	1982 Maíz	1982 Soja	1983 Maíz	1983 Soja
Corwin	Ligera	8,21	9,0	3,64	2,05	-
Corwin	Moderada	7,77	10,4	3,21	1,73	-
Corwin	Severa	7,55	7,52	3,12	1,04	-
Miami*	Ligera	9,11	11,0	2,9	4,3	2,8
Miami	Moderada	8,78	10,1	2,9	4,3	2,5
Miami	Severa	7,22	8,5	3,0	4,3	2,2
Morley	Ligera	7,36	6,5	2,6	-	1,02
Morley	Moderada	7,23	5,4	2,4	-	1,06
Morley	Severa	6,54	4,3	1,9	-	0,9

rían (interactúan) con las condiciones climáticas durante el año en que se midió el rendimiento.

Un trabajo con 7 suelos del estado de Illinois, encontró que la reducción de rendimiento promedio de maíz al pasar de fase moderada a severa de erosión fue de 24% en suelos con horizontes subsuperficiales de características restrictivas al crecimiento radicular y tan solo de 5% en suelos sin restricciones al arraigamiento en sus horizontes subsuperficiales (Olson y Nizeyimana, 1988).

Utilizando metodología recomendada por el Comité sobre Erosión-Productividad de la región Central Norte de EE.UU., cuyos fondos de investigación cooperativos financiaron el proyecto, Olson *et al.* (1999) trabajaron sobre 12 series de suelos (3 Argiudoles, 1 Argiustol, 2 Haplustoles, 5 Hapludalfes, 1 Fragiudalfe), localizados en 7 estados, comparando la producción de maíz con alta tecnología en parcelas con diferentes fases de erosión, localizadas sobre el mismo suelo y posición en la catena, en el mismo paisaje y localidad, durante 5 años (1984 a 1989). Sus conclusiones fueron que la productividad de la fase con erosión severa se redujo entre 7 y 35%, comparada con la de fases con menos erosión, en suelos con subsuelos restrictivos al crecimiento radicular. En cambio, en

suelos con subsuelos favorables al crecimiento radicular no se encontrarán diferencias significativas. En Uruguay, amentablemente, predominan ampliamente los suelos con importante desarrollo del horizonte Argilúvico y los que lo poseen con menor grado de desarrollo suelen tener menor espesor de *soilm*. Por lo tanto, de los resultados del cinturón maicero de EE.UU. debemos suponer que nuestros suelos están entre los más susceptibles a perder productividad como consecuencia del proceso de erosión.

Si se quisiese definir la tolerancia de pérdida de suelo en términos extremos, se podría pensar que la tasa de erosión no debería superar a la tasa de formación o génesis del suelo en cuestión. Evidentemente, éste es un concepto aún más difícil de cuantificar y hay disponible menos información fiable que la existente sobre pérdida de productividad para algunos cultivos.

En la figura 3.1 se presenta el esquema conceptual en el que el autor basó su discusión sobre el efecto de la erosión en la productividad. En la misma, puede observarse que una misma tasa de erosión en función del tiempo no afecta igual la productividad de todos los suelos, en concordancia con la información experimental antes discutida. Esto lleva al concepto de Tolerancia de Pérdida de Suelo por erosión, que fue introducido con los primeros modelos de estimación de tasas de erosión, para tener un criterio en cuanto a la toma de decisiones sobre prácticas conservacionistas de uso y manejo de suelos (Schertz, 1983). Según este autor, se trata de la tasa de erosión que no deteriore la productividad del suelo en el largo plazo; en el glosario de conservación de recursos (SCSA, 1982), en vez de largo plazo se habla de indefinidamente.

Además de la dificultad de cuantificar este concepto para cada suelo concreto, desde el punto de vista del nuevo concepto de calidad de suelos se puede criticar el que no tiene consideración conceptual sobre los efectos de la erosión en las funciones ambientales de los suelos antes discutidas, ya que solamente se basa en la productividad. Pero, según Bezdíček *et al.* (1996), la funcionalidad de regulación ambiental de los suelos está íntimamente relacionada a su productividad, por lo que dicha crítica quedaría atenuada.

Los criterios disponibles fueron desarrollados por el Servicio de Conservación de Suelos del USDA, a partir de la adopción del uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, ver punto 3.4, más ade-

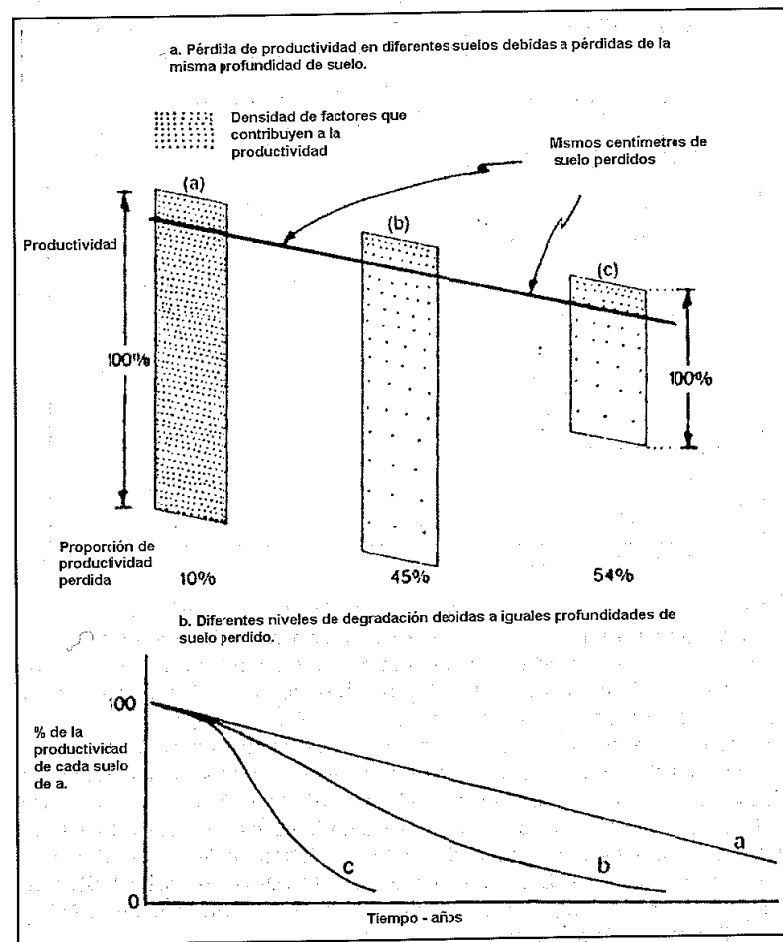


Figura 3.1. Tasas diferenciales de pérdida en capacidad productiva en diferentes suelos sufriendo la misma tasa de pérdida de masa y por lo tanto de profundidad (Pierce, 1961).

Cuadro 3.4. Algunos criterios de tolerancia de pérdida de suelo. Valores T en Mg/ha.año (Puentes, 1981).

Características de suelo	VALOR T				
	12	9	7	5	2
> 100 cm a roca consolidada	X				
> 100 cm a arena o grava	X				
50 -100 cm a roca consolidada		X			
50 -100 cm a arena o grava		X			
50 -100 cm a claypan*		X			
25 -50 cm a arena o grava			X		
25 -50 cm a roca consolidada				X	
10 -50 cm a claypan			X		
< 25 cm a roca consolidada					X
< 25 cm a arena o grava			X		
<10 cm a claypan					X

*Horizonte B (Argilúvico) bien desarrollado.

lante) por parte de sus agencias de extensión. Para desarrollar los criterios y asignar un valor de tolerancia (conocido como T) a los diferentes suelos, se tuvo en consideración la opinión e información de investigadores y extensionistas de todo EE.UU., arribándose en 1973 a los criterios y valores que se presentan en el cuadro 3.4 (McCormack *et al.*, 1982). Las principales características tomadas en cuenta en ese proceso "experto" son la profundidad del suelo, el tipo de material madre y la productividad relativa del horizonte A en relación al subsuelo (que incluye al horizonte B). Puentes (1981) asignó valores T siguiendo estos criterios a todos los suelos dominantes y asociados de las 99 unidades del Mapa de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1: 10⁶ (Durán *et al.*, 1976), que fueron mantenidos en publicaciones posteriores (García Préchac, 1982 y 1992; Puentes y Szogi, 1983).

En Uruguay no se han realizado trabajos experimentales que evalúen el efecto de la erosión sobre la productividad de los suelos. Existen trabajos experimentales de larga duración que han evaluado la productividad relativa de diferentes sistemas de producción sobre algunos

pocos suelos que se discutirán adelante. La erosión generada por los diferentes sistemas de uso y manejo de dichos sistemas de producción es una de las causas del cambio de la calidad de suelos que explican los resultados, pero los experimentos no fueron diseñados para cuantificar su efecto con independencia de otras causas.

El principal antecedente nacional de evaluación del efecto de la degradación (principalmente debida a erosión) de los suelos, sobre la productividad, se encuentra en el Sistema CONEAT (MGAP-DGRNR-CONEAT, 1990) explicado adelante. Desde el origen, el sistema reconoció diferencias de productividad debidas a distinto estado de degradación. Esto fue explicitado a través de la Fase de Erosión predominante en un área concreta de una Unidad o Grupo CONEAT, en relación al estado de degradación (Fase de Erosión) predominante a nivel nacional en dicho Grupo CONEAT. Entre los 185 Grupos CONEAT, existen 11 dentro de los que se hicieron subdivisiones en función del grado relativo de degradación (cuadro 3.5).

García Préchac y Durán (1998), codificaron las Fases de Erosión en una escala de 0 a 4, intentando transformar sus definiciones semicualitativas (Kaplan *et al.*, 1990) en una variable numérica (cuadro 3.6). Luego estimaron el cambio del valor codificado del grado de erosión y lo correlacionaron con la magnitud de cambio porcentual del Índice CONEAT (MGAP, 1994) de cada uno de los 11 casos (figura 3.2). Se observa que la relación lineal entre ambas variables es alta ($R^2 = 0,77$) y que la regresión tiene origen próximo a cero y pendiente que indica un cambio de 21% de Índice de Productividad CONEAT por cada unidad de cambio del grado de erosión (cambio de una Fase de Erosión a la Siguiente). Como en la aproximación realizada el cambio de un grado de erosión significa el cambio de 25% de espesor del Horizonte A, la relación hallada permite realizar una aproximación de expresión de pérdida de suelo por erosión a pérdida de productividad CONEAT. Como el Índice CONEAT se ha popularizado en Uruguay y guía el mercado de tierras, esto puede significar un avance en términos de expresar la erosión, no solamente en términos de productividad sino también, de valor venal de la tierra. Es muy común, cuando se manejan datos experimentales de erosión o estimaciones realizadas utilizando modelos, que su forma normal de expresión en Masa Superficie⁻¹.Tiempo⁻¹ (Mg/ha.año), no sea fácilmente captada por la audiencia. La relación hallada dentro del Sistema CONEAT, permite transformar dicha expresión a tasa de espesor de Horizonte A perdido y a tasa

Cuadro 3.5. Casos de Grupos CONEAT con subdivisiones por su grado de degradación, expresado a través de la Fase de Erosión (García Préchac y Durán, 1998).

GRUPOS DE SUELOS Y GRADO DE EROSIÓN DE LOS CASOS CONEAT CONSIDERADOS (MGAF, 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 Montecora El Grupo 10.3 tiene grado de erosión NULA El 10.13 LIGERA-MODERADA
CASO CONEAT 8: Grupos 10.3 y 10.14, Unidad Montecora El 10.3 tiene grado de erosión NULA El 10.14 MODERADA-SEVERA
CASO CONEAT 9: Grupos 10.13 y 10.14, Unidad Montecora 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 Paullier-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 3.6. Codificación de las Fases de Erosión, en función del rango de magnitud de Horizonte A perdido por erosión (García Préchac y Durán, 1998).

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

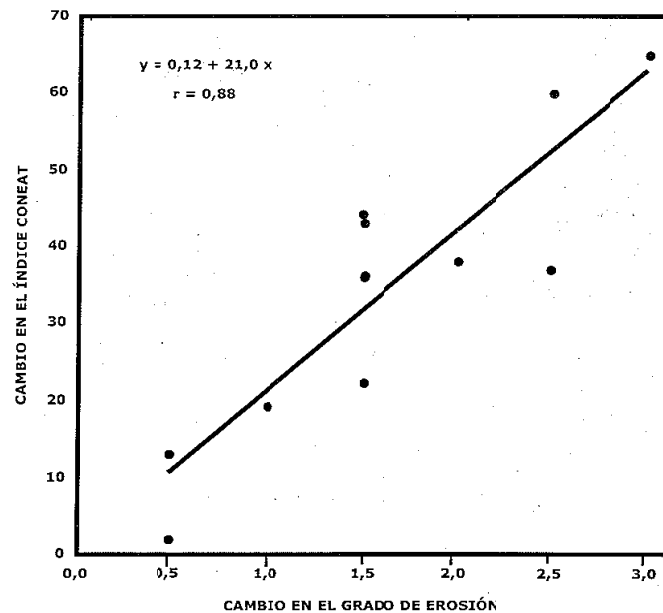


Figura 3.2. Relación entre el cambio del grado de erosión codificado y el cambio porcentual del Índice CONEAT (García Préchac y Durán, 1998).

de pérdida de Productividad CONEAT, lo que puede ser mucho más comprensible, especialmente para audiencias no técnicas, como son la mayoría de los tomadores de decisiones políticas y el público en general. Este procedimiento, publicado en Uruguay en 1998, fue presentado en la International Soil Conservation Conference que tuvo lugar en 1999 en la sede del Soil Erosion Laboratory del ARS-USDA en la Universidad de Purdue (Indiana, EE.UU.), y fue seleccionado e incluido en el libro que reúne los trabajos seleccionados de dicho evento (García Fréchac y Durán, 2001).

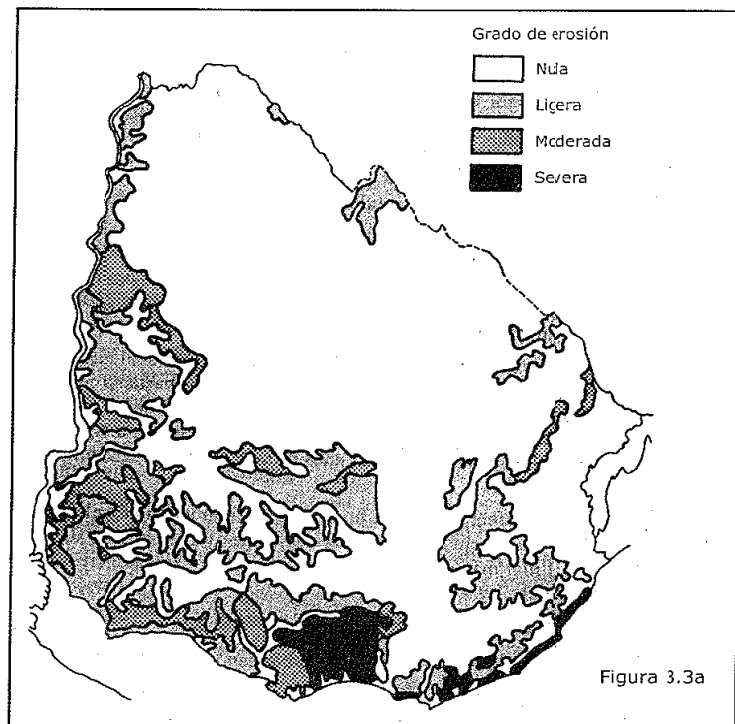
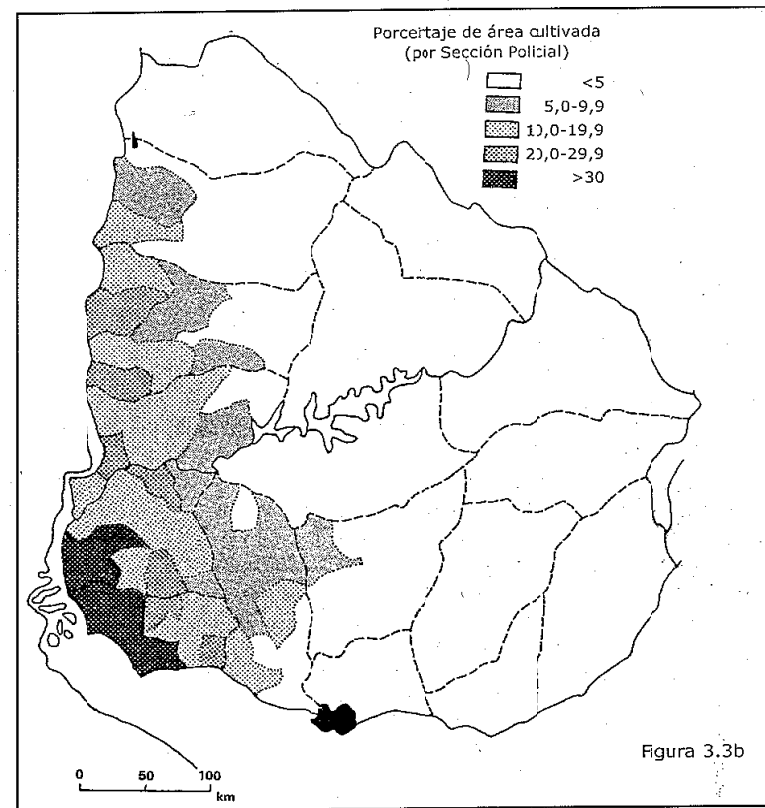


Figura 3.3. La figura 3.3a presenta el mapa de erosión actual generalizado sobre el Mapa de Reconocimiento de Suelos del Uruguay escala 1:10⁶ (Cayssials *et al.*, 1978) y la figura 3.3b, la distribución del cultivo de trigo (Griffin, 1972).

El mapa de erosión actual generalizada por zonas (fig 3.3a), con categorías constituidas por las Fases de erosión, se basó en fotografías aéreas de 1966 y confirmación de campo; el mapa de distribución del área triguera se elaboró con información contemporánea a la anterior. Se aprecia la estrecha asociación entre la agricultura, representada por el principal cultivo en la época y la erosión de los suelos del país. El área afectada en algún grado era el 30% del territorio nacional. Las áreas con Erosión Severa, no tienen relación con la presencia de cultivo de trigo.



La que se ubica sobre la costa atlántica, corresponde principalmente al fenómeno, en ese entonces predominantemente geológico, de derrumbe de barrancas. En cambio, la que aparece en la mitad este del Departamento de Canelones unida al oeste del Departamento de Lavalleja, en el estudio de Griffin (1972) muestra predominancia del cultivo de maíz. En la época, era la zona principal en la que se plantaba este cultivo, que tenía un rendimiento promedio de alrededor de 1000 kg/ha. En realidad, se trataba de la chacarera en predios medianos y pequeños, en los que el cultivo se realizaba como monocultivo con muy baja tecnología, que incluía el retiro total del rastrojo, para ser usado como alimento de los animales del predio en invierno. Por otra parte, esa zona probablemente haya estado sometida a cultivo bajo esa tecnología desde muy antiguo en el proceso de colonización europea, mientras que el mayor crecimiento de la agricultura en el litoral del río Uruguay y el oeste del río de la Plata se realizó bastante más tarde, con un gran crecimiento durante la década de 1950.

Existe una actualización de esta información realizada en la segunda mitad de los 90 y recientemente publicada en el documento del Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (Sganga *et al.*, 2005), que a pesar del cambio metodológico con respecto al estudio anterior, ubica el área afectada por algún grado de erosión antrópica en el 30,1% del territorio nacional. El nuevo mapa se presenta en la figura 3.4. La principal diferencia con el del estudio anterior es que abre las categorías Muy Ligera y Leve, dentro de la considerada Ligera en el estudio de Cayssials *et al.* (1978) y también precisa más los límites de las áreas con erosión Moderada y Severa. En el caso de esta última categoría, como el estudio de Sganga *et al.* se restringe a erosión antrópica (la enorme mayoría de la que ocurre en Uruguay), desaparece en el nuevo mapa la región de la costa atlántica que aparecía en el de 1978. En contrapartida, aparecen nuevas áreas con erosión Severa en Paysandú y San José, por lo que el porcentaje del territorio con este grado de afectación no cambia casi entre ambos estudios (1978: 1,7%; 2005: 1,9%). En el nuevo estudio aparece un mapa de intensidad del proceso de cárcavas, que afectaría al 2,9% del territorio con su mayor incidencia en las áreas con Erosión Severa y Moderada, pero también ocurriendo en distintas zonas del país bajo pasturas naturales.

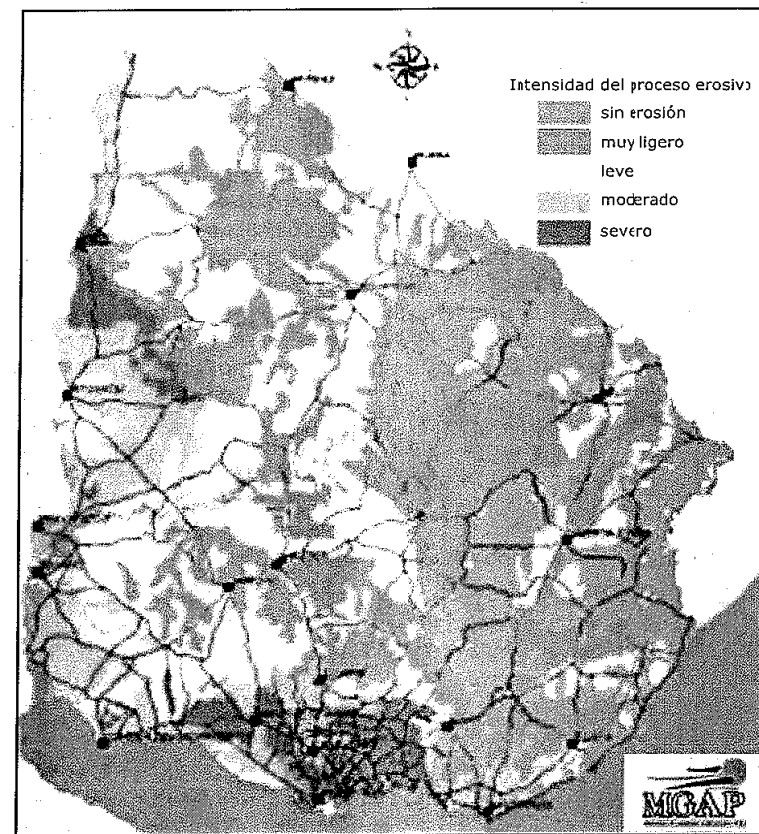


Figura 3.4. Interpretación de la Carta de Erosión Antrópica. En porcentaje de la superficie nacional: No afectada 69,9%; Leve 18,3%; Moderada 9,9%; Severa 1,3%; Muy Severa 0,6% (Sganga *et al.*, 2005). (Ver Fig. 1 color.)

3.2.2. Efectos de la erosión sobre el ambiente

Los efectos de la erosión son sobre el conjunto del ambiente, comienzan con los cambios ya discutidos de las propiedades de los suelos que afectan su productividad y que, como ya se indicó, están correlacionados con las funciones ambientales del suelo de regulación de los ciclos del agua, del aire y los biogeoquímicos de los nutrientes. Por ejemplo, si se modifican negativamente las propiedades físicas, se reduce la infiltración y la capacidad de retener agua y como consecuencia, aumenta el escurrimiento; esto, además de retroalimentar a la erosión, altera el ciclo hidrológico de la cuenca. Un ejemplo de impacto de la erosión y la degradación sobre la calidad del aire, de alta consideración e importancia contemporánea, es la contribución a la contaminación del aire por aumento de su concentración de dióxido de carbono (CO_2). Este es el principal gas con efecto invernadero, que entre otras fuentes proviene de la oxidación biológica de la materia orgánica del suelo, acelerada al laborearse los suelos y transportarse los sedimentos durante el proceso erosivo. Un ejemplo de deterioro de la regulación de los ciclos de los nutrientes es la pérdida de nitrógeno y fósforo por erosión acelerada de las partes altas del paisaje y su enriquecimiento en las partes bajas y en los cuerpos de aguas, causando eutroficación.

Al considerar el conjunto del ambiente, se pone de manifiesto que la erosión afecta no solamente a los suelos y sitios del paisaje que la sufren, sino también a los que se ubican en las zonas de deposición del suelo transportado (que de esa forma se convierte en sedimento) y a los ecosistemas acuáticos a los que llegan sedimentos. En este último caso, los sedimentos se transforman en contaminantes del agua y provocan:

- 1) Aumento de turbidez, que afecta la penetración de luz en los cuerpos de agua, alterando funciones biológicas como por ejemplo las fotosintéticas;
- 2) Alteración de los sitios de desoves y sepultado de los existentes presedimentación;
- 3) Generación de la eutroficación ya mencionada;
- 4) Contaminación con productos químicos persistentes, con capacidad

de unirse a las partículas de suelo, si los sedimentos provienen de áreas en las que aquellos se hubieren aplicado;

- 5) Elevación del lecho de los cursos de agua y achicamiento de sus cauces, lo que aumenta la frecuencia y magnitud de sus crecidas y afecta su navegabilidad;
- 6) Colmatación de embalses, afectando su operatividad y vida útil.

La fotografía de la figura 3.5, nos da una visión desde una perspectiva que no es cotidiana del Río de la Plata y buena parte de nuestro territorio, incluyendo el Río Uruguay y parte del Río Negro, donde se aprecia el lago del embalse de Palmar. Se destaca la importantísima carga de sedimentos que llegan al Río de la Plata, que explica claramente la diferencia existente para el acceso y costo de mantenimiento relativo de los Puertos de Buenos Aires y de Montevideo. Como en buena medida el

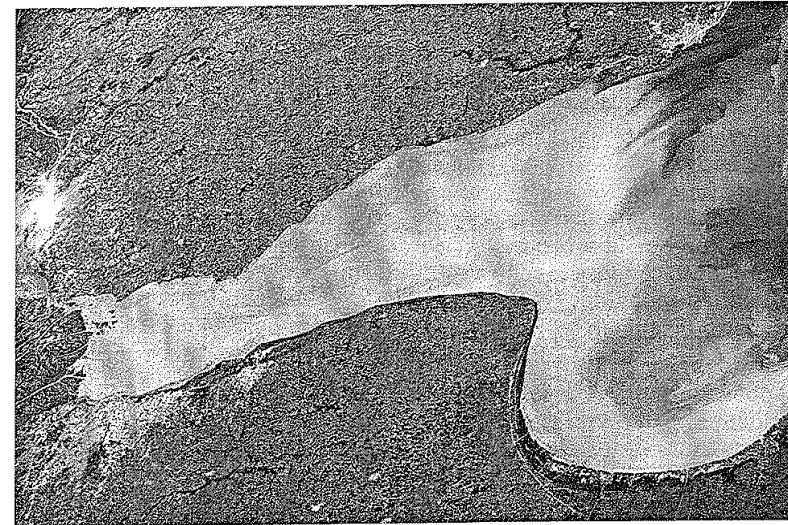


Figura 3.5. Fotografía del Río de la Plata tomada por un astronauta con una cámara digital de 80 mm el 14 de noviembre de 2003 (Earth Observatory, dentro de la página Web de la NASA). (Ver Fig. 2 color.)

fenómeno tiene origen natural en el conjunto de la Cuenca del Plata (los primeros navegantes del Plata hicieron anotaciones en sus bitácoras diciendo que entraban en aguas rojas), se explica que además de por su bahía natural, siempre el puerto de Montevideo haya tenido ventajas operativas y de mantenimiento sobre el de Buenos Aires, las que se tornan mayores en la actualidad con barcos cada vez más grandes y con mayor calado. Pero no tenemos información de cuánto puede haber aumentado la carga de sedimentos que llega al Plata por efecto de la erosión antrópica que, indudablemente aumentó en la segunda mitad del siglo XX con la expansión de la agricultura en la cuenca, en particular en sus territorios en Brasil, Argentina, últimamente en Paraguay y muy recientemente en nuestro país. Lo que estamos seguros es que dicho aumento ocurrió.

La fotografía de la figura 3.5 no incluye el embalse del Canelón Chico sobre la Ruta Nacional 5. Es de público conocimiento que el agua de dicha represa tiene una enorme cantidad de sedimentos finos en suspensión que la ha hecho poco útil a sus fines, que son servir de reserva de agua a la usina purificadora de Aguas Corrientes, para regular los aportes que hace la cuenca del río Santa Lucía. Es demasiado costoso eliminar dichos sedimentos en suspensión en el proceso de potabilización. Justamente, la cuenca de la represa del Canelón Chico, construida en la década de 1950, está en la zona más erosionada históricamente del Uruguay (figura 3.6), lo que ha contaminado en forma extrema al agua superficial de la misma. En cambio, en la fotografía de la figura 3.5 se puede apreciar una buena porción del embalse de Palmar sobre el Río Negro, destacándose el color azul de su agua, que contrasta notablemente con las aguas del Uruguay y el Plata. En la cuenca del Negro hasta Palmar predominan las pasturas naturales bajo pastoreo (78% de la superficie, Genta *et al.*, 2004), con proporciones bajas de lechería, agricultura y forestación (12%, 7% y 3%, respectivamente).

El cuadro 3.7 presenta los porcentajes de longitud de ríos y superficie de lagos de EE.UU., afectados por distintas fuentes de contaminación. En ambos casos predomina la Agricultura con 72 y 56%, respectivamente; en el primer caso, si a la Agricultura se suma la Silvicultura, se llega a 79%. En el cuadro 3.8, se muestran los porcentajes de afectación por las diferentes naturalezas de los contaminantes. En los ríos predominan los sedimentos con 45%, les siguen los nutrientes con 37% y los plaguicidas con 26%. Dentro de los nutrientes, sabemos que el fósforo



Figura 3.5. Fotografía aérea de la zona con erosión muy severa del este de Canelones. Se observa claramente el predominio de erosión no encauzada en la parte más alta, la asociación de la erosión en surcos con la de la dirección de laboreo y su transformación en cárcavas hacia abajo en las pendientes; también la deposición de sedimento en las partes bajas con poca pendiente, a la que se han trasladado los cultivos (gentileza del Ing. Agr. Leonel Aguirre). **(Ver Fig. 3 color.)**

tiene poca movilidad propia y es transportado unido a las partículas minerales y orgánicas de los sedimentos. También, una parte importante de los plaguicidas se mueve unida a las partículas de los sedimentos. En el caso de contaminación de los lagos, los sedimentos tienen menos participación (22%), pero debe notarse que éstos son mucho más afectados que los ríos por fuentes puntuales municipales, alcantarillado urbano, modificaciones hidrológicas y aguas residuales (cuadro 3.8).

La información de EE.UU. no deja dudas que la Agricultura y dentro de ella la generación de sedimentos (la erosión), aparece como el principal problema de contaminación de aguas. Si esto es así en uno de los países más desarrollados del mundo, donde existe una actividad industrial y urbana proporcionalmente mucho más importante que en nuestro país, no

Cuadro 3.7. Porcentajes de longitud de ríos y superficie de lagos afectados por diferentes fuentes de contaminación en EE.UU. (US-EPA, 1994, citado por Ongley, 1997).

Fuente de Contaminación	% de longitud de ríos	% de superficie de lagos
Agricultura	72	56
Fuentes puntuales municipales	15	21
Alcanarillado urbano	11	24
Extracción de recursos	11	
Fuentes puntuales industriales	7	
Silvicultura	7	
Modificaciones hidrológicas y de hábitat	7	23
Aguas residuales		16

tenemos dudas en expresar que la erosión, con sus consecuencias de degradación de suelos y de contaminación de aguas, debe considerarse como el principal problema ambiental del Uruguay, fuera de los centros urbanos e industriales. Esto se reafirma al considerar la información nacional ya citada, que muestra que entre un 30 y 40% de la superficie nacional ya ha sido afectada por algún grado de erosión. Como ya sabemos que la erosión

Cuadro 3.8. Porcentajes de longitud de ríos y superficie de lagos afectados por diferentes naturalezas de contaminantes en EE.UU. (US-EPA, 1994, citado Por Ongley, 1997).

Naturaleza del contaminante	% de longitud de ríos	% de superficie de lagos
Sedimentos	45	22
Nutrientes	37	40
Agentes Patógenos	27	24
Plaguicidas	26	
Enriquecimiento Orgánico (DBO)	24	24
Metales	19	47

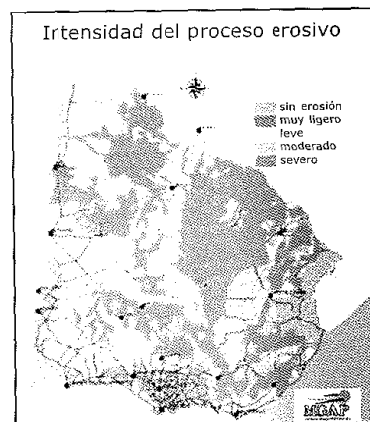


Figura 1. Interpretación de la Carta de Erosión Antrópica. En porcentaje de la superficie nacional: No afectada 59,9%; Leve 18,3%; Moderada 9,9%; Severa 1,3%; Muy Severa 0,6% (Sganga et al., 2005).



Figura 2. Fotografía del Río de la Plata tomada por un astronauta con una cámara digital de 80 mm el 14 de noviembre de 2003 (Earth Observatory, dentro de la página Web de la NASA).