

Disertación del Ing. Agr. Roberto R. Casas

**Sr. Presidente,
Sres. Miembros del Jurado,
Sres. Académicos,
Colegas y amigos,
Mi familia.**

Deseo antes que nada agradecer este Premio que me ha sido discernido casi seguro por encima de mis merecimientos. Ello ha sido posible por el continuo apoyo recibido por parte de INTA y de todos aquellos que colaborando con mi labor lo hicieron posible. Un papel de primera categoría desempeñaron los míos, mi familia, que supo comprender mis desvelos en la tarea. Gracias mil a todos, la Academia, la Fundación, el Jurado y al Dr. Carlos Scoppa por la benévola presentación.

La Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas

Temario

- 1.- Introducción
- 2.- Expansión agrícola y degradación de los suelos pampeanos
 - * Erosión hídrica y eólica
 - * Exportación de nutrientes y acidificación de los suelos
 - * Disminución de la materia orgánica
- 3.- Agricultura y Vulnerabilidad de los suelos: el marco conceptual
- 4.- Causas de la disminución de la productividad de los suelos
- 5.- La producción sustentable
 - * El control de la erosión
 - * Incremento de la materia orgánica humificada
 - * El aumento de la fertilidad del suelo
 - * La siembra directa: hacia una agricultura de beneficios ambientales
- 6.- Conclusiones
- 7.- Bibliografía

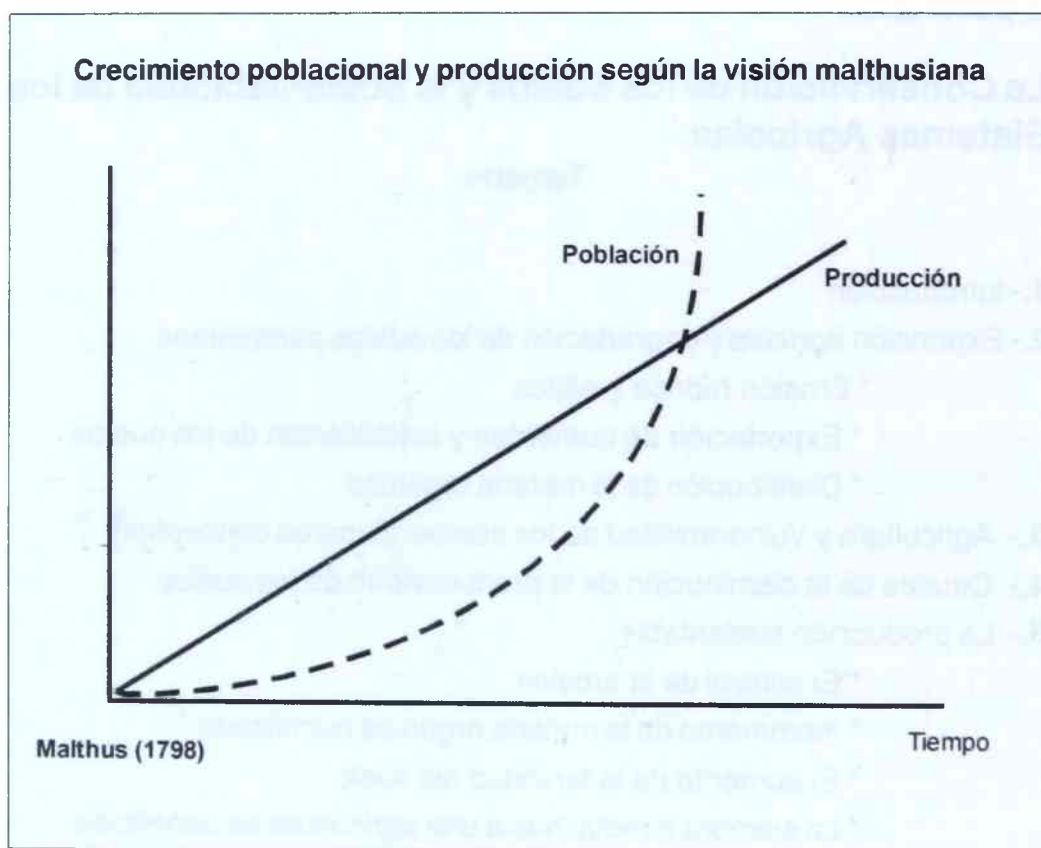
La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas

1 - INTRODUCCION

Hace unos 200 años Thomas Malthus publicó su obra "Un ensayo sobre población" en la cual desarrolló la tesis del crecimiento exponencial de la población humana comparativamente al crecimiento lineal de la producción agropecuaria. Estas tasas diferenciales de crecimiento culminarían

inexorablemente en falta de alimentos y hambrunas que a su vez controlarían la población mundial. Como sabemos, las predicciones de Malthus no se cumplieron a pesar de que en los dos últimos siglos el crecimiento demográfico fue el más alto de la historia humana (Fig. 1).

Figura 1



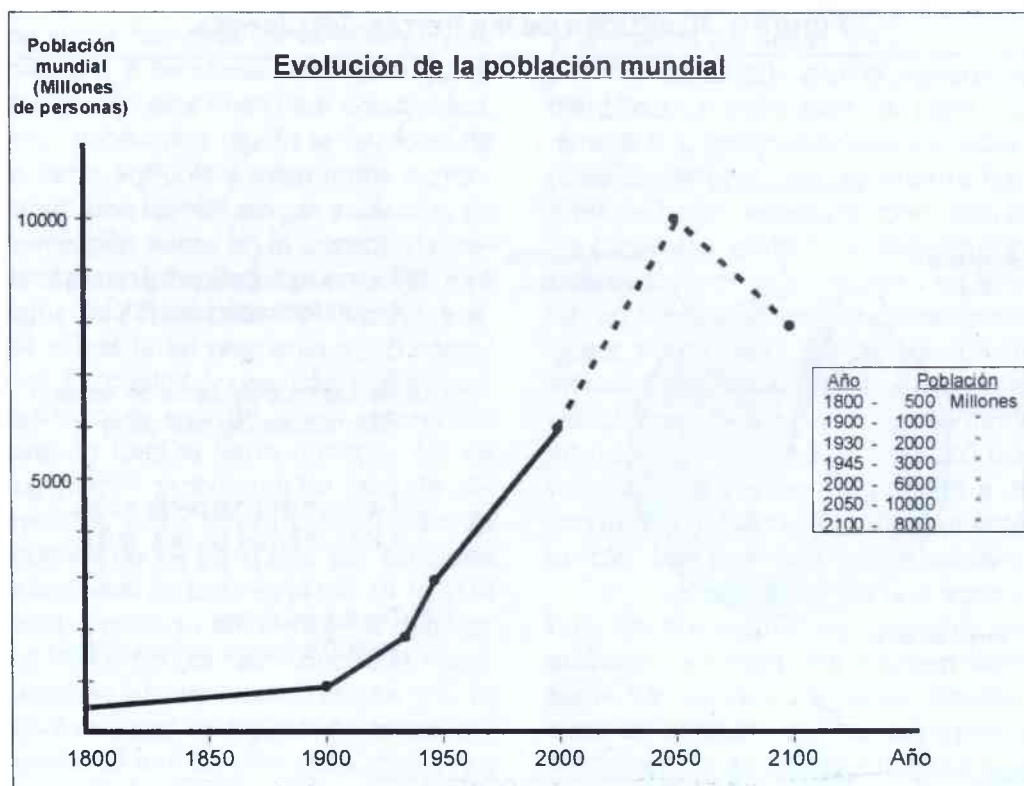
En efecto, la población mundial que en época de Malthus era de 500 millones de personas, alcanza los mil millones hacia fines del siglo XIX, dos mil millones hacia 1930 y tres mil

millones en 1945. Desde entonces se ha vuelto a duplicar, estimándose hoy en alrededor de 6 mil millones, cifra que se proyecta llegará a los 10 mil millones en los próximos 50 años. Se

estima que luego habrá un leve descenso antes de que la población se establezca en alrededor de 8 mil millones de personas, o sea un 25 por ciento más que en la actualidad (Fig. 2). A pesar de este crecimiento demográfico

co extraordinario, el incremento de la producción agropecuaria fue aún mayor, aumentando la provisión de alimentos y disminuyendo significativamente las hambrunas (Solbrig, 1999).

Figura 2



Sin embargo, en las naciones pobres existe aproximadamente un 10 por ciento de la población humana (unos 600 millones de habitantes) que padece hambre y otro tanto que no recibe alimentos en cantidades suficientes causando problemas de desnutrición que afectan seriamente el crecimiento de los niños y la capacidad de trabajo de los adultos.

Existe actualmente una creciente preocupación mundial por alcanzar una agricultura sustentable. Ello se debe a: a) que los recursos de tierras arables son finitos; b) problemas

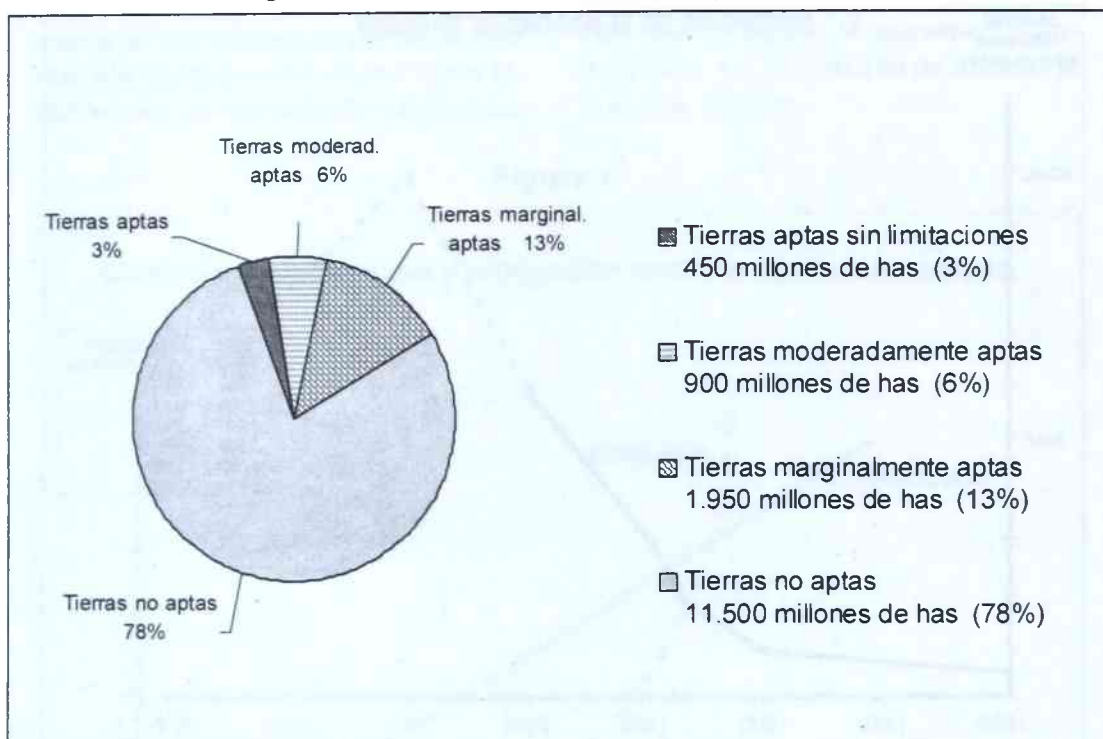
crecientes y generalizados de degradación de suelos; c) necesidad de preservar el recurso suelo para su utilización a largo plazo; d) efectos sobre el cambio climático y e) crecimiento de la población de los países en desarrollo.

Tal como se observa en la figura 3, menos de la cuarta parte de las tierras del planeta (unos 3.300 millones de hectáreas), tienen aptitud agrícola en grados variables. De este total solamente unas 450 millones de hectáreas (3%) son aptas para el cultivo en seco sin limitaciones, correspondiendo a las tierras loessicas del

centro-oeste de los Estados Unidos, norte de Francia, Ucrania, centro-norte de China y la Región Pampeana Argentina. Del resto de las tierras agrícolas, 900 millones de hectáreas (6%) son moderadamente aptas y 1900 millones de hectáreas (13%) marginalmente aptas. Estos dos últimos

grupos requieren tratamientos e inversiones de capital entre 500 y 1000 dólares por hectárea tales como riego, fertilización, enmiendas, sistematizaciones y labores conservacionistas, para poder ser utilizadas (Solbrig, 1995).

Figura 3. Aptitudes de las tierras del planeta



El crecimiento permanente de la población de los países en desarrollo genera una presión creciente sobre los recursos naturales que conduce a una sobreexplotación de los mismos. La consecuencia directa es la degradación de los suelos, con intensificación de la erosión hídrica y eólica, deterioro de la estructura, salinización, disminución de la fertilidad y desertificación. Los procesos de degradación determinan un descenso de la productividad de los suelos y a veces la pérdida irreversible de la capa

productiva, aumentando la desnutrición y el hambre en esos países: es lo que se denomina "círculo vicioso de suelos por comida".

Se estima que alrededor de un 30% de las tierras arables (unos 400 millones de hectáreas) están afectadas por diversos procesos de degradación con un incremento anual de 5 a 7 millones de hectáreas. El aumento de las tierras degradadas y de la población mundial, determina que mientras que en el año 1990 existían 0,25 hectárea de tierra arable por habitante, en el

2000 esa superficie disminuyó a 0,23 hectárea por habitante. Si este proceso se observa desde la óptica de la productividad global de los suelos, la situación descrita pareciera no ser tan dramática a primera vista, aunque sin embargo debería merecer un análisis profundo y muy cauteloso.

Hasta 1930, cada hectárea de suelo cultivado alimentaba en promedio a 2 personas. De haber continuado con este nivel de productividad, hoy habríamos usado la totalidad de la tierra agrícola y estaríamos enfrentando una hambruna generalizada. La revolución verde en la década del sesenta casi duplicó la productividad agrícola y hoy cada hectárea cultivada alimenta en promedio a 3,6 personas. De continuar con este nivel de productividad, en 100 años estaremos usando toda la tierra agrícola. No se registrarán problemas de falta de alimentos, pero habrán desaparecido muchos de los bosques, con pérdidas cuantiosas de biodiversidad. Si en este mismo período se vuelven a duplicar los rendimientos, se reducirá la necesidad de cultivar nuevas tierras y si la productividad se triplica, se podrá alimentar al mundo utilizando solamente las tierras actualmente en uso.

La revolución verde produjo la concentración de recursos científicos y tecnológicos que, entre 1960 y 1970, lograron resultados espectaculares. Las ventajas del modelo permitieron que muchos países lograran la autosuficiencia de alimentos a pesar de un aumento de la población sin precedentes. Sin embargo, quedaron algunas secuelas no deseables fundamentalmente relacionadas con el impacto ambiental negativo: erosión, degradación de suelos y enormes áreas marginales descuidadas. A su vez, la escasez de petróleo que se produjo a

principios de la década del 70, generó una toma de conciencia acerca de que los recursos de la Tierra son limitados. Crece la preocupación sobre el impacto de algunas tecnologías industriales, tales como la de los pesticidas en la cadena alimentaria, la contaminación de ríos y acuíferos por fertilizantes, la escasez de recursos hídricos y la erosión del suelo.

Orientada por la agricultura científica de principios de siglo que miraba a la naturaleza como modelo, nace el concepto de agricultura sustentable basado en la interconexión de las diferentes "partes" del sistema agrícola incluyendo al productor y su familia, en maximizar las relaciones biológicas y minimizar la aplicación de insumos y prácticas que quiebren esas relaciones. El concepto sustentable introduce la dimensión "tiempo" que implica la capacidad del sistema de producir y perdurar indefinidamente, quizás con una evolución apropiada.

La necesidad de una agricultura de productividad creciente sin embargo generará una mayor presión sobre los recursos naturales, instalándose un conflicto con los principios o fundamentos de la sustentabilidad. El desarrollo sustentable es un concepto que impone límites, tanto sobre la presión que se puede ejercer sobre el ambiente, como sobre la tecnología que se puede generar para potenciar el crecimiento económico y el bienestar (Viglizzo, 1994).

Los productores agropecuarios, los científicos y los técnicos no son los principales agentes determinantes de que es lo sustentable, pero su contribución en el desarrollo tecnológico es muy significativa. En este sentido, se considera que la conservación de los suelos constituye el basamento de la pirámide de los

sistemas agrícolas sustentables ya que cuando un suelo se degrada intensamente ya sea por erosión, contaminación o salinización, por mencionar los principales procesos, la pérdida de su productividad puede ser irreversible o su recuperación tornarse económicamente inviable.

2 - EXPANSIÓN AGRÍCOLA Y DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS PAMPEANOS

La primera referencia al problema de la erosión del suelo en la Argentina se encuentra en el libro de Carlos Darwin "Viaje de un naturalista alrededor del mundo" publicado en Londres en 1845, con referencias especiales a las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. Dice Darwin que el País había tomado el aspecto de una polvorienta carretera. La sequía había sido tan prolongada que el suelo se había pulverizado y volaba en tal cantidad que se habían perdido los puntos de referencia y no se podían hallar los límites de las propiedades particulares. Según el mismo, estas sequías serían periódicas y se repetirían cada 15 años.

En el año 1872 Luis Olivera en su estancia "El Potrillo" situada en el partido de 25 de Mayo en la Provincia de Buenos Aires, trabajó en fijación de médanos, labor que consistió en la plantación de cinco mil estacas de sauce llorón (*Salix babylonica*). A éste se lo considera el primer trabajo sobre conservación de suelos realizado y documentado en el País.

Posteriormente en los comienzos del siglo actual comienzan a publicarse una serie de trabajos que describen el problema de la erosión de los suelos (principalmente la eólica) y los métodos para su control (Luiggi,

1901; Issouribehere, 1901; Ortíz, 1901; Ferreyra, 1910 y 1913; Bovet, 1910 y 1912; Miatello, 1915; Molins, 1918 y Girola, 1919).

Las primeras referencias que se tienen con relación a la colonización de las tierras de la Región Pampeana datan del año 1866, localizándose en las Provincias de Santa Fe (Esperanza, San Gerónimo, San Carlos y Helvetia), Entre Ríos (San José y Villa Urquiza) y Buenos Aires (Baradero, Carmen de Patagones). Pero según referencia de Fliess (1892) la agricultura en la región oeste de la Provincia de Buenos Aires se inició en 1881, fecha en que fueron desalojados los indios. La generalización de la agricultura ocurrió hacia 1885, debiéndose principalmente a la instalación de las primeras colonias agrícolas y a la llegada del ferrocarril. Pero es realmente hacia 1890 cuando comenzó la organización de la agricultura y la ganadería, así como de la comercialización de sus productos. Por esta época el cultivo de trigo ocupa el primer lugar, seguido a cierta distancia por el maíz y la alfalfa. Los cultivos de cebada, centeno y avena, ocupaban muy escasas superficies. En años posteriores se incorporó el lino en el oeste de Buenos Aires y sur de Córdoba.

Hacia 1905 llegaron nuevas corrientes de inmigración iniciándose una expansión muy fuerte de la agricultura hasta 1908. Por estos años se registraron intensas sequías y quemas de pastizales, como las acaecidas en los años 1905, 1911 y 1913. Desde la Estación Experimental de Guatraché se recomendaba sembrar el trigo en épocas tempranas, pues haciéndolo tarde escaseaba la humedad del suelo y se corría el peligro de que se formaran médanos por la remoción del terreno. Destaca Molins (1918) la

observación de un productor pampeano, quien decía que arando el campo un par de veces, es muy probable que se formen médanos, mientras que sembrando alfalfa sin arar, o sea, pasando solamente una rastra de discos liviana, se obtienen resultados altamente satisfactorios, lo que constituye una de las primeras referencias a la labranza reducida.

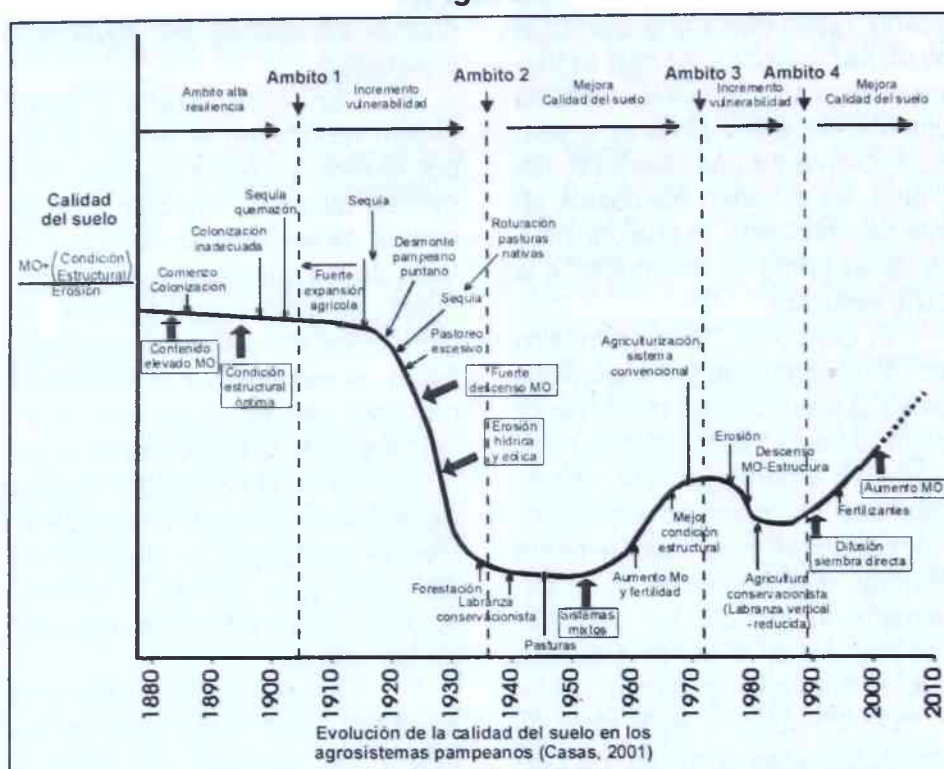
El censo de 1914 demostró nuevos incrementos de las superficies cultivadas aunque con un ritmo menor al registrado hasta 1908. Estos aumentos se repiten a partir de 1914, observándose que los mayores incrementos corresponden proporcionalmente a La Pampa, que ingresa en su verdadera expansión agrícola. Un hecho similar se registra en el sur de Córdoba (Instituto de Suelos y Agrotecnia, 1948). Hacia 1928/29 culmina este ciclo de incremento del área cultivada y a partir de entonces se estabiliza y aun disminuye la superficie sembrada en el área de erosión eólica. Las razones de este proceso se debieron al bajo precio de los cereales, pero fundamentalmente al intenso y difundido proceso de erosión eólica, que motivó el abandono de grandes superficies destinadas a la agricultura. Desde 1930 hasta 1944 se manifiesta la tendencia a disminución de los cultivos agrícolas especialmente en los últimos años, aumentando la superficie destinada a la ganadería. A esta situación crítica se suma la sequía de los años 1937 y 1938 que afectó a La Pampa, sur de Córdoba y San Luis, ocasionando pérdidas de cosechas sobre unos 6 millones de hectáreas. Ello se reflejó en un aumento de agricultores empobrecidos y la generalización del proceso de

erosión eólica en suelos que continuaban labrándose con arado de reja y vertedera.

En 1939, Arena y Guiñazú (1940) reconocen la región afectada por erosión y sequía expresando que existen factores naturales predisponentes tales como la estructura inestable de los suelos arenosos y las sequías periódicas que afectan la región. Entre las causas antrópicas señalan al desmonte y la roturación de praderas nativas, el laboreo del suelo sin humedad, el monocultivo, el pastoreo excesivo, la explotación inadecuada del suelo sin tener en cuenta la aptitud de las tierras, la colonización inadecuada y por último, la indiferencia social a los procesos de degradación de los suelos.

El período descrito que abarca desde 1880 hasta 1940 se evalúa como un período de “descarga ecológica” (Viglizzo, 1994) caracterizado por el sobreuso y mal uso de los suelos y el ambiente productivo. En una primera etapa, el elevado contenido de materia orgánica de los suelos vírgenes y una agricultura que no había llegado a su etapa de expansión, permitieron mantener los suelos productivos, con procesos degradatorios incipientes o localizados. A partir de 1916, las sequías ambientales periódicas, la fuerte expansión de la agricultura ocurrida a principios de siglo y el deterioro sufrido por los suelos por las labranzas excesivas con arado de reja y vertedera intensificaron los procesos de degradación de los suelos pampeanos, con un marcado descenso de los contenidos de materia orgánica e incremento de los procesos de erosión hídrica y eólica (Fig.4).

Figura 4



Hacia 1940 ocurrió una toma de conciencia generalizada sobre el estado de degradación de los suelos, su fragilidad y las consecuencias negativas desde el punto de vista social y económico. Ello se tradujo en una serie de acciones concretas que contribuyeron a disminuir y controlar el proceso erosivo. En 1940 el Ministerio de Agricultura publicó las normas técnicas para corregir la erosión de los suelos, preparadas por agrónomos regionales con participación y asesoramiento de la División de Suelos del Ministerio. En el mismo año y en virtud de un pedido formulado por la Cámara de Diputados se elevó al Congreso de la Nación un informe preparado por la División de Suelos del Ministerio de Agricultura sobre el estado de los suelos y los estudios necesarios para su conservación. Por esta época también se dio a conocer el mensaje y proyec-

to de Ley de Conservación del Suelo enviado por el Poder Ejecutivo al Congreso de la Nación que consta de siete capítulos sobre disposiciones legales, disposiciones sobre erosión, plan de forestación para las regiones de erosión, estudio y fiscalización de abonos y correctivos, organismo de asesoramiento y cooperación y disposiciones especiales. También la forestación cobró impulso en estos años. Hacia 1940 se destaca el proyecto del ingeniero Jorge A. Pico para forestar 2,5 millones de hectáreas en el norte de La Pampa y sur de Córdoba.

En 1944 se creó el Instituto de Suelos y Agrotecnia, el cual encaró el reconocimiento y estudio de la zona de erosión como actividad prioritaria en su plan de labor. Por intermedio de la División de Conservación y Mejoramiento, a cargo del Ingeniero Agrónomo Casiano V. Quevedo quien

se había especializado en Estados Unidos, puso en ejecución sistemas y prácticas de conservación de suelos tales como cultivos en franjas, cultivo en contorno, terrazas y fijación de médanos.

Durante la década del 40, se logró paulatinamente estabilizar el ciclo de deterioro y erosión de los suelos. La sustitución creciente de cultivos de cosecha por alfalfa, la mayor superficie destinada a la ganadería, el mejor uso de los residuos de cosecha, los planes masivos de forestación, unido a la acción de experimentación y asesoramiento del Instituto de Suelos y Agrotecnia, permitió generar este período de "reacción" que permitió el ciclo de recarga ecológica que se produjo a partir de 1950 (Fig. 4).

Una situación similar se presentó en el norte de la provincia de Buenos Aires donde desde 1940 empezó a expandirse la ganadería como consecuencia de privilegiarse la exportación de carne de mayor valor por volumen exportado con relación al maíz y otros cereales de gran volumen y comparativamente bajo valor (Pizarro, 1997). Esta tendencia se mantuvo hasta aproximadamente fines de la década del 60.

Este período de "recarga ecológica" se caracteriza por la vigencia de un modelo mixto de explotación de la tierra. En el mismo, la alfalfa y la ganadería restituían la materia orgánica del suelo y le devolvían el nitrógeno exportado con los granos, además de restituir las condiciones físicas del suelo. Luego de 5 a 6 años de pastura, se volvía a hacer agricultura con muy buenos rendimientos. La ganadería era casi tan rentable como la agricultura y los precios relativos del trigo y de la carne determinaban cuanta superficie se dedicaba a una u otra

actividad. Inconscientemente este sistema adoptado por razones económicas y sociales, resultó ser una solución conservacionista y sustentable (Solbrig, 1997). Entre las décadas del 50 y del 60 se inició un proceso de recuperación del ambiente productivo a partir de acciones públicas y privadas y la introducción de tecnologías conservacionistas. La creación del INTA, Facultades de Agronomía, los Grupos CREA y la legislación conservacionista aplicada por algunos gobiernos provinciales contribuyeron significativamente a consolidar este ciclo regenerativo de las propiedades edáficas (Viglizzo, 1994).

A partir de 1970 los suelos de la región Pampeana sufrieron una extraordinaria transformación de la actividad agrícola, caracterizada por el gran aumento de la producción, adopción de moderna tecnología, desarrollo de nuevas formas organizativas de la producción y un acelerado proceso de agriculturización que solamente en dicha región desplazó alrededor de 5 millones de hectáreas de uso ganadero a la agricultura. Desde comienzos de la década se inició este proceso de agriculturización en coincidencia con la expansión del cultivo de soja que impacta negativamente sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y también sobre su integridad (Casas, 1998). Este proceso creció en el área maicera a una tasa anual del 4 por ciento (Senigaglia, 1991). El aspecto más grave de la expansión e intensificación de la agricultura fue el incremento de la erosión hídrica de los suelos, dado su carácter irreversible (Coscia, 1988).

Las principales causas del deterioro progresivo de los suelos en este período fueron las siguientes (Casas, 1998):

- a) El empleo de tractores más potentes y equipos de mayor ancho de labor y más pesados permitieron la intensificación de las labranzas, ocasionando el desmejoramiento de la estructura y la compactación del suelo.
- b) Reemplazo de cultivos tradicionales como el maíz, por otros de mayor atractivo económico como la soja. Ello trajo como consecuencia una menor incorporación de residuos post-cosecha y por otro lado la posibilidad de combinar el ciclo del cultivo de soja con el del trigo de tal forma de obtener dos cosechas en un año. A su vez esto implica una alta tasa de extracción de nutrientes y agua del suelo.
- c) Un ciclo húmedo que abarcó principalmente el período 1971/85 muestra una tendencia al aumento de las precipitaciones en todo el núcleo maicero y otras zonas de la región pampeana. En este período se registraron excesos hídricos directamente relacionados con la exitosa penetración del doble cultivo trigo-soja y la expansión de la frontera agrícola hacia el oeste de la región (Morello y col., 1991). La intensificación agrícola se realizó con labranzas convencionales que incrementaron los procesos de erosión hídrica.
- d) La elevada tasa de extracción de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, sin la reposición correspondiente por intermedio de fertilizantes químicos. En este período se produce la difusión de híbridos de alto potencial de rendimiento siendo muy bajos los niveles de fertilización.
- e) Modificación del régimen de manejo de la tierra mediante el cual los contratistas, dueños de la maquinaria agrícola, son los que toman las decisiones sobre el manejo del suelo, reemplazado en esta tarea al propietario de la tierra.

La modalidad de producción mencionada, intensificó los procesos de degradación de los suelos (Fig.4) con un progresivo deterioro de la capacidad productiva, incremento de los riesgos de sequía, mayores costos de producción y descenso de los rendimientos en tierras degradadas. Estos procesos se manifiestan con mayor intensidad en las zonas más frágiles por condiciones de semiaridez (región pampeana semiárida), pendientes (subregión pampeana ondulada y periserrana del sur de la provincia de Buenos Aires) o profundidad del perfil (suelos con horizonte petrocálcico del sur de la provincia de Buenos Aires).

La intensificación de la agricultura en la región Pampeana y el desplazamiento de las isohietas hacia el oeste, provocó el desmonte de los bosques de caldén en la provincia de La Pampa sobre suelos de alta susceptibilidad a la erosión eólica. También en la provincia de Entre Ríos, la frontera avanzó sobre los bosques de ñandubay, en suelos susceptibles a la erosión hídrica.

Es importante señalar que el proceso de agriculturización de la Región Pampeana, afectó negativamente a regiones extrapampeanas. Con el estímulo del ciclo húmedo imperante y el escaso valor de la tierra, comenzó un importante proceso de expansión de la frontera agropecuaria en la región Chaqueña. Este proceso provocó la ganaderización de la frontera oriental y la expansión del cultivo de poroto y la ganadería en la occidental (Morello y col., 1991) en una primera etapa y luego la difusión del cultivo de soja en la provincia de Santiago del Estero, Chaco, Salta y Tucumán.

Erosión hídrica y eólica

Se estima que un 20 por ciento del territorio argentino está afectado por procesos de erosión hídrica y eólica lo cual representa unas 60 millones de hectáreas en total.

La erosión hídrica afecta a los mejores suelos con aptitud agrícola y agrícola-ganadera. El grado de deterioro actual de los suelos debido a la erosión hídrica es de variada intensidad, destacándose en la Región Pampeana, el centro y oeste de Entre Ríos, las cuencas de los ríos Carcarañá y Tercero (centro-sur de Córdoba y sur de Santa Fe) cuencas del río Arrecifes y del arroyo del Medio (norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe).

La subregión de la Pampa Ondulada abarca aproximadamente 4,6 millones de hectáreas en el norte de la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba. Presenta un total de tierras erosionadas de 1,6 millones de hectáreas, lo cual representa alrededor del 35 por ciento de la superficie. Las cuencas más erosionadas son las de los ríos Carcarañá con una superficie total de 148 mil hectáreas de las cuales un 60 por ciento están afectadas por erosión; la del río Arrecifes con una superficie total de 1,3 millones de hectáreas y con 47 por ciento afectada por erosión hídrica y la del arroyo del Medio con una superficie de 140 mil hectáreas de las cuales un 90 por ciento posee algún grado de erosión hídrica (Casas, 1998).

También los suelos de la provincia de Entre Ríos presentan un grado importante de afectación y susceptibilidad a la erosión hídrica. El relieve ondulado, la intensidad de las lluvias de verano y otoño, la baja capacidad

de infiltración de los suelos arcillosos predominantes y la agricultura convencional, son las principales causas que favorecen la erosión. La erosión actual afecta unas 2,3 millones de hectáreas, es decir un 37 por ciento de la superficie provincial, excluyendo el Delta del Paraná.

Otras provincias afectadas por erosión hídrica son Misiones con una superficie erosionada de 1,2 millones de hectáreas sobre un total de 3 millones de hectáreas (40 por ciento), Chaco con una superficie erosionada de 2,1 millones de hectáreas sobre un total de 10 millones de hectáreas (21 por ciento) y Formosa que tiene afectadas 2,8 millones de hectáreas sobre un total de 7,2 millones de hectáreas (40 por ciento). Pero también el proceso erosivo en forma localizada se torna importante en algunos sectores de Salta (centro y sur), San Juan (región central de pedemontes), San Luis (noreste), La Rioja (regiones montañosas del oeste, centro y pedemontes del sur) y Patagonia (focos de intensidad variada especialmente en las provincias de Santa Cruz y Chubut). (PRO-SA, 1988)

La erosión eólica afecta principalmente al sector semiárido de la Región Pampeana, Patagonia y sectores importantes de Mendoza, La Rioja, Catamarca y Salta. También en la región Chaqueña, debido principalmente a las texturas limosas de los suelos existe un proceso erosivo generalizado de intensidad moderada.

El proceso eólico en la Región Pampeana, abarca el sur de la provincia de Córdoba, este de San Luis, noroeste de La Pampa, sudoeste de Buenos Aires, en una superficie de unos 6 millones de hectáreas. Contrariamente a la erosión hídrica, el avance que llevaba años atrás la erosión

eólica se ha ido reduciendo de manera visible en la mayor parte de la región, excepto en el sur de Córdoba, este de San Luis y sur de Buenos Aires (partidos de Villarino y Patagones), en las que, debido a sequías frecuentes, el fenómeno se incrementó. Las causas directas de la erosión eólica en la Región Pampeana Semiárida son la falta de rotaciones, uso reiterado de implementos de labranza inadecuados, sobrepastoreo de campos naturales y cultivos, deforestación sin planificación previa y laboreo de tierras no aptas para la agricultura.

En la Patagonia, especialmente en las provincias de Santa Cruz,

Chubut y Río Negro, existen un total de 10 millones de hectáreas erosionadas sobre una superficie de 67 millones de hectáreas, lo cual representa un 15 por ciento afectadas en grados severo y grave. Sin embargo, debe consignarse que en esta región completa (78,5 millones de hectáreas) existe un proceso de desertificación generalizado que afecta a 73,5 millones de hectáreas (93 por ciento), con 27,8 millones de hectáreas (35,4 por ciento) en grado moderado y 25 millones de hectáreas (31,8 por ciento) en grados grave y muy grave (del Valle y col., 1997).

Figura 5
REPUBLICA ARGENTINA
SUPERFICIE AFECTADA POR LA EROSION HIDRICA
(Casas R.R., 2001)

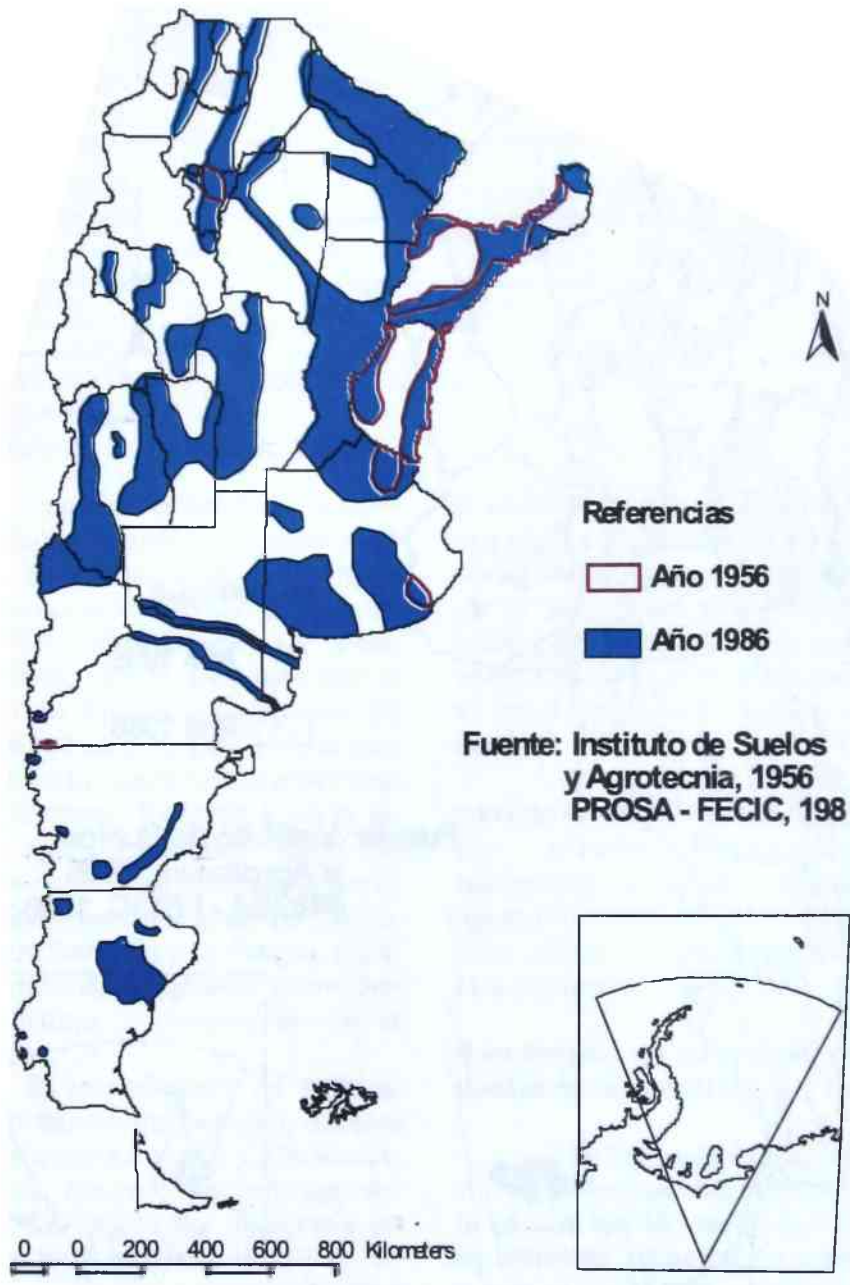
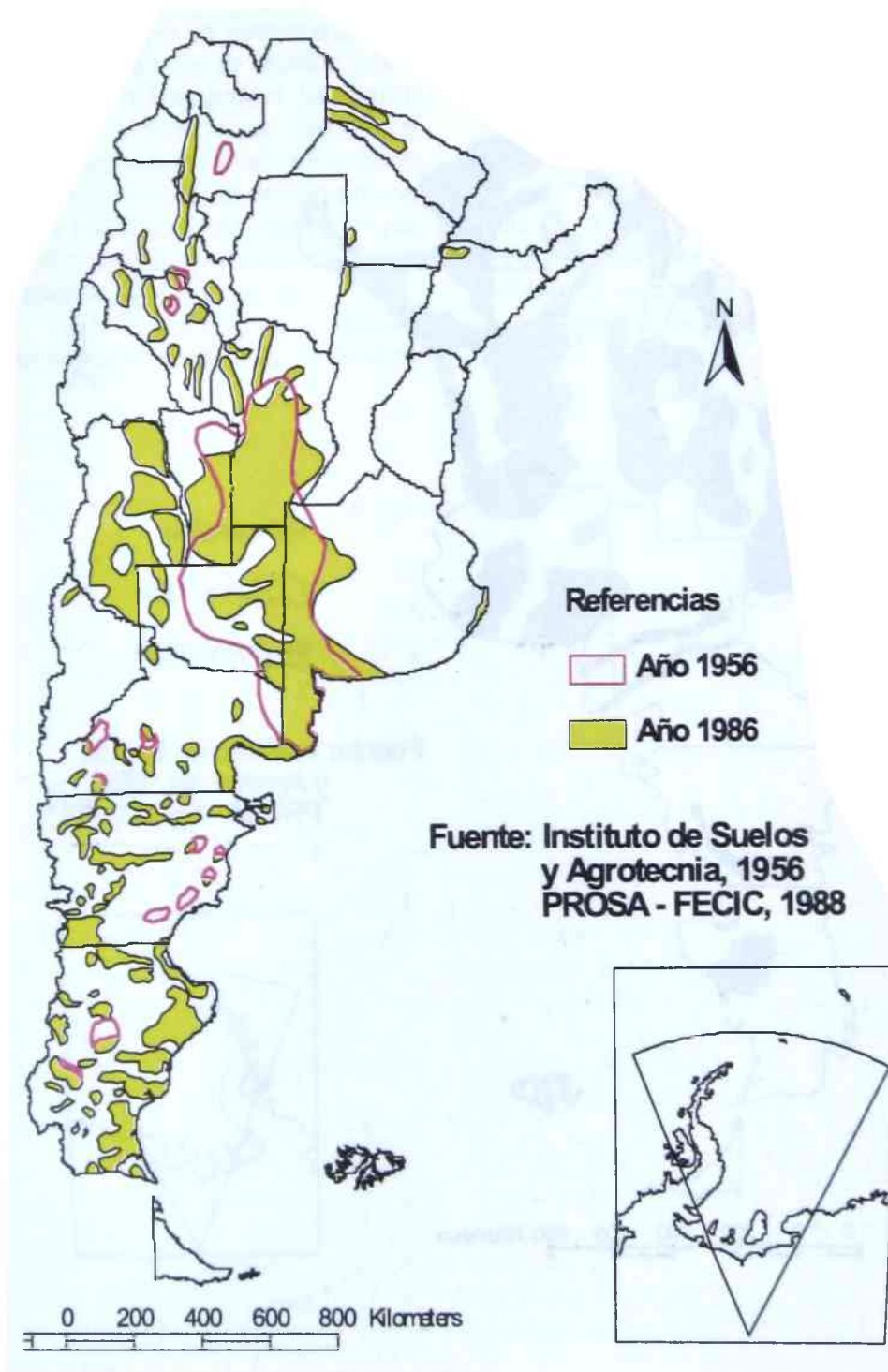


Figura 6
REPUBLICA ARGENTINA
SUPERFICIE AFECTADA POR LA EROSION EOLICA
(Casas R.R., 2001)



En el cuadro 1 se muestran las cifras de erosión hídrica y eólica que afectan al territorio argentino, por

grados de intensidad y según estimaciones afectadas en 1956, 1986 y 1990.

Cuadro 1: Erosión actual en la República Argentina según tipos y grados

Año de la Estimación	EROSION (EN MILLONES DE HA)				
	Total	Eólica	Hídrica	Grado Moderado	Grado Severo-Grave
1956 (1)	34,2	16	18,2	27,1	7,1
1986 (2)	46,4	21,4	25,0	22,4	24,0
1990 (3)	58,0	28,0	30,0	27,0	31,0

(1) Instituto de Suelos y Agrotecnia (1957)

(2) PROSA-FECIC (1988)

(3) Instituto de Suelos -INTA (1990)

Como se observa, la erosión total creció constantemente entre 1956 y 1990. Sin embargo se deben efectuar algunas aclaraciones sobre la información consignada en cada relevamiento. En el efectuado por el Instituto de Suelos y Agrotecnia en 1956, se relevó principalmente la erosión hídrica presente en las provincias mesopotámicas, Tucumán y norte de Buenos Aires. La erosión eólica fue relevada en el oeste y sur de la provincia de Buenos Aires, oeste de Córdoba, sur de San Luis y La Pampa, incluyendo información general sobre Salta, La Rioja y provincias de la Patagonia.

El relevamiento de 1986 sí bien fue mucho más amplio, excluyó las provincias de Catamarca, Mendoza, Neuquén y Santiago del Estero. La estimación realizada en 1990, se basa en la del año 1986, incluyendo la totalidad de las provincias argentinas.

Si bien es difícil comparar

estas cifras (especialmente las de 1956 con las dos siguientes) por los motivos consignados, resulta llamativo observar el crecimiento de la erosión tanto hídrica como eólica en sus grados severo y grave, proceso que seguramente se intensificó en las décadas del 70 y del 80.

En la figura 5 se observan comparativamente, las áreas afectadas por erosión hídrica en los relevamientos de 1956 y 1986. En la figura 6 se observan las áreas con erosión eólica correspondientes a los relevamientos de los mismo años.

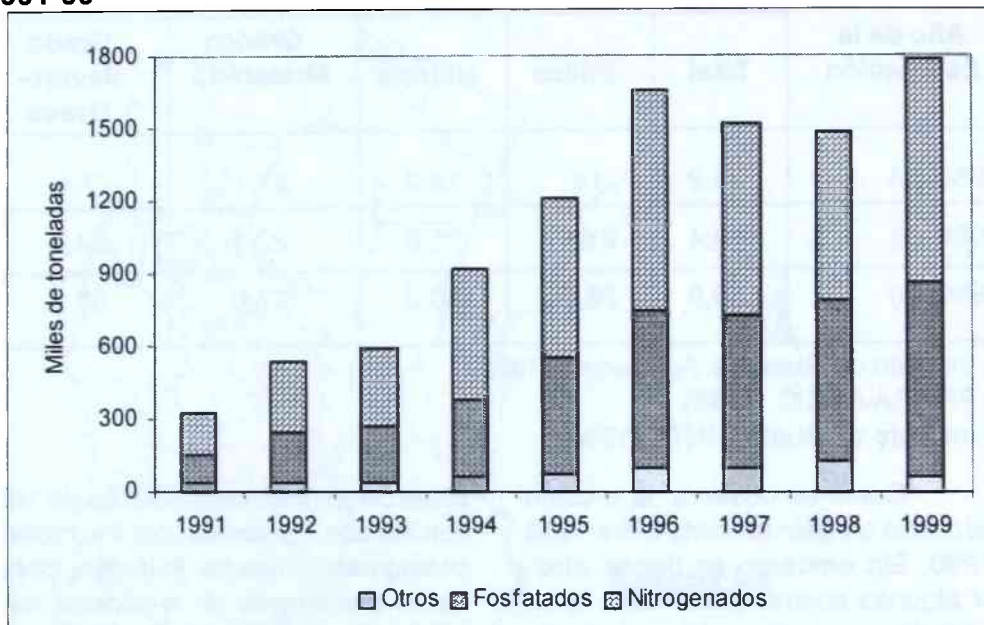
Exportación de nutrientes y acidificación de los suelos

El incremento constante de los rendimientos registrados durante la década del 90, hecho que continúa actualmente, ha permitido pasar de 40 a más de 70 millones de toneladas de granos de cosecha anual. Si bien en este período se ha producido un

incremento importante del uso de fertilizantes pasando de poco más de 300 mil toneladas en 1991, a aproximadamente 1,8 millones de toneladas en

1999, (SENASA, SAGPyA) el mismo está lejos aún de alcanzar los niveles de reposición de nutrientes extraídos por los principales cultivos (figuras 7 y 8).

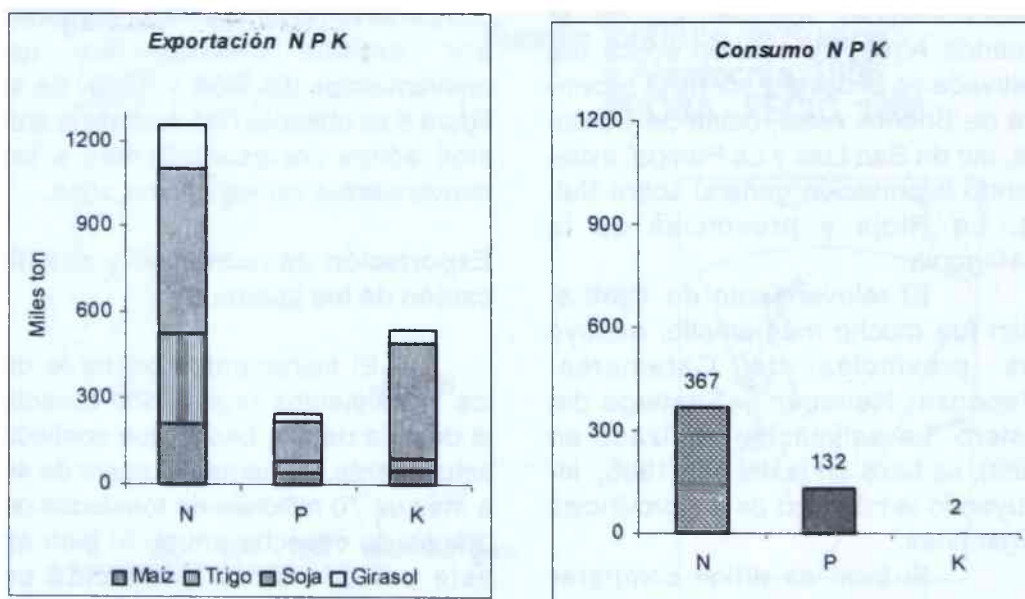
Figura 7. Consumo estimado de fertilizantes en Argentina en el período 1991-99



Fuente: SENASA - SAGPyA, 2000.

Figura 8

Extracción en grano y aplicación de nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en los cuatro cultivos principales de grano de la región Pampeana en la campaña 1999/00



Estimación a partir de SENASA - SAGPyA y Proyecto Fertilizar - INTA. Fuente: Fernando O. García

Estimaciones recientes sobre los cultivos de trigo, maíz, soja y girasol de la región Pampeana indican niveles de reposición del 25-30 por ciento para nitrógeno y 50-55 por ciento para fósforo, siendo prácticamente nulos para otros nutrientes esenciales. Los bajos niveles de reposición de nutrientes ha conducido a una disminución considerable de la fertilidad de los suelos y por lo tanto, de la sustentabilidad física, económica y ambiental de las explotaciones agrícolas (García, 2001).

Por otra parte, el proceso de acidificación de los suelos en la región Pampeana se está generalizando en función de varios factores con-

currentes. La intensificación de la agricultura con germoplasma de alto potencial de rendimiento y el uso de fertilizantes nitrogenados han contribuido a la acidificación de los suelos. La elevada tasa de extracción de nutrientes debida a los altos rendimientos agrícolas, determina una disminución del factor capacidad de los suelos. En el cuadro 2 se observa la tasa promedio de extracción de calcio y magnesio por algunos cultivos pampeanos. Frecuentemente, cuando se planifica mejorar la fertilidad del suelo se piensa casi exclusivamente en el nitrógeno y el fósforo, asumiéndose erróneamente que existen reservas ilimitadas de calcio y magnesio.

Cuadro 2: Tasas de extracción de calcio y magnesio por algunos cultivos de región Pampeana, necesaria para producir una tonelada de grano o materia seca.

Cultivo	Tasa de Extracción en kg x ha ⁻¹ por cada Tn de grano o materia seca	
	Calcio	Magnesio
Maiz	3	3
Soja	16	9
Trigo	3	3
Girasol	18	11
Alfalfa	12	3

También la precipitación pluvial participa de este proceso de acidificación mediante la erosión hídrica y la lixiviación en profundidad del calcio y del magnesio, cationes que son reemplazados por el hidrógeno en el complejo de cambio del suelo. Se estima que la saturación de bases del complejo de intercambio desciende hasta un 30 por ciento por cada unidad de disminución del pH, hecho

frecuente y generalizado en los suelos pampeanos (Michelena y col, 1989). En el cuadro 3 se observa la variación del pH y pérdida de calcio en algunas series de suelos de la región Pampeana bajo agricultura continua y en rotación, respecto de suelos inalterados. Para reponer el déficit de calcio, se deberían adicionar al suelo de 2 a 4,8 Tn/ha de carbonato de calcio.

Cuadro 3: Variación del pH y pérdida de calcio en diferentes suelos de región Pampeana bajo rotación y con agricultura continua, respecto a suelos inalterados.

Serie de suelo	Diferencia de pH		Pérdida de calcio				Corrección CO ₃ Ca Tn/ha
	Rotación	Agricultura Continua	Rotación		Agricultura continua		
			meq	%	meq	%	
Peyrano	-	-	1,25	8,5	2,25	16,4	2,0
Arroyo dulce	0,7	0,9	3,46	20,1	4,45	25,9	4,0
Oncativo	0,3	0,5	4,29	27,8	5,07	32,9	4,6
Marcos Juarez	0,3	0,3	5,00	29,8	5,30	31,5	4,8

El proceso de acidificación provoca variaciones en la dinámica de los nutrientes, con aumento de la concentración de hidrógeno, manganeso y aluminio y la inmovilización / deficiencia de fósforo, calcio, magnesio y molibdeno.

En la región Pampeana se estima que existen alrededor de 16 millones de hectáreas afectadas por procesos de acidificación ubicadas principalmente en el norte de Buenos Aires, centro y sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba y noreste de La Pampa, disminuyendo la productividad de los suelos.

Disminución de la materia orgánica

Un análisis de la evolución de la calidad de los suelos de la región Pampeana desde comienzos de la etapa de colonización hasta nuestros días, indica que siempre estuvo ligada al contenido de materia orgánica. Los sistemas agrícolas convencionales históricamente han actuado consumiendo

el stock de materia orgánica de los suelos. Los sistemas mixtos de utilización de la tierra que se extendieron durante las décadas del 50 y del 60 lograron recuperar parte de la materia orgánica perdida, hasta que el ciclo de agriculturización iniciado a principios de los 70, provocó un nuevo descenso de los contenidos.

Estudios realizados por el Instituto de Suelos del INTA (Michelena y col. 1989) sobre 5 millones de hectáreas de la región maicera tradicional, mostraron que los niveles de materia orgánica disminuyeron progresivamente con el uso agrícola, pasando de un 3,2 por ciento promedio en suelos con rotación agrícola-ganadera, al 2,7 por ciento en suelos sometidos a agricultura continua por períodos de más de 20 años. La disminución de los contenidos de materia orgánica si bien variable en las distintas series de suelos y según los sistemas de manejo fluctúan entre el 24 por ciento y más del 60 por ciento del contenido original (cuadro 4). Parte de este carbono

se perdió por procesos erosivos y parte por emisión a la atmósfera en forma de dióxido de carbono. Estas emisiones que son naturales durante la etapa de mineralización de la materia

orgánica del suelo y necesarias para la fertilidad del mismo, se incrementan durante la realización de las labranzas ya que estimulan la oxidación de la materia orgánica.

Cuadro 4

Pérdida de materia orgánica en Argiudoles bajo rotación y agricultura continua respecto del suelo testigo

Serie	Disminución de Mo en % y Rangos			
	Rotación		Agricultura continua	
Pergamino	24.3	Baja	38.6	Moderada
Chabás	27.4	Baja	39.8	Moderada
Rojas	29.0	Baja	35.3	Moderada
Maggiolo	29.1	Baja	35.5	Moderada
Monte Buey	29.6	Baja	39.1	Moderada
Venado Tuerto	30.5	Moderada	37.1	Moderada
Casilda	31.6	Moderada	47.3	Alta
Hughes	34.1	Moderada	40.5	Alta
Peyrano	35.4	Moderada	45.8	Alta
Portela	40.5	Alta	47.0	Alta
Arrecifes	41.9	Alta	52.4	Muy alta
Marcos Juárez	43.1	Alta	51.0	Muy alta
Arroyo Dulce	44.8	Alta	52.8	Muy alta
Los Cardos	45.1	Alta	50.8	Muy alta
El Cantor	50.2	Muy alta	56.0	Muy alta
Classon	52.1	Muy alta	59.4	Muy alta
Capitán Sarmiento	52.6	Muy alta	63.9	Excesivamente Alta

Fuente: Instituto de Suelos INTA, 1995

3 - AGRICULTURA Y VULNERABILIDAD DE LOS SUELOS: EL MARCO CONCEPTUAL

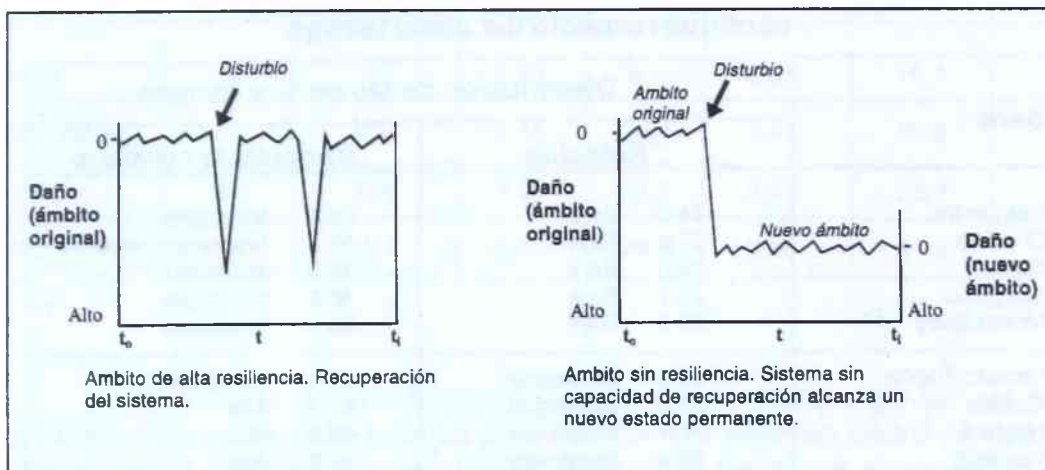
Se ha descripto como a lo largo de la historia agrícola en los agrosistemas pampeanos han alternado períodos de incremento de la vulnerabilidad de los suelos y el ambiente, con períodos de ganancia en la calidad de los mismos. Las distintas situaciones tienen que ver con los conceptos de resiliencia y vulnerabilidad de los suelos los cuales están íntimamente relacionados.

Hacia principios del siglo XX la agricultura se expandió sobre suelos vírgenes, con elevados contenidos de materia orgánica y muy bien estructurados. Ello constituía un ámbito de alta resiliencia con un elevado grado y velocidad de restauración de la calidad y función luego de ocurrido un disturbio. Es así que las labranzas con herramientas inadecuadas, asociadas a sequías climáticas y quemazonas, inicialmente no impactaban negativamente en los suelos en función de la elevada recuperación del sistema, lo cual permitía mantener el

“ámbito original” sin generar un nuevo ámbito correspondiente a un estado de degradación mayor del suelo. Se trataba de un ambiente de baja vulnerabilidad con muy escasa disminución de la capacidad productiva de los

suelos (Fig. 9). Esta situación original, como se analizó anteriormente, se modificó luego de la expansión agrícola de 1910/15, con un fuerte incremento de la vulnerabilidad de los suelos.

Figura 9. Efecto de un disturbio sobre sistemas con distintas resiliencias

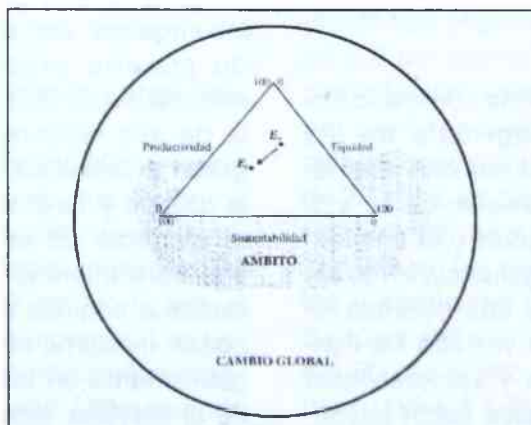


Fuente: Gastó, J. y col., 1997.

El modelo de Nijkamp permitía analizar conceptualmente los cambios en la vulnerabilidad de un “sistema” frente a acciones externas como es la actividad antrópica. El modelo está contenido por tres lados: productividad, equidad social y sustenta-

bilidad ambiental. El ámbito donde ocurren las acciones se relaciona con el recurso natural (suelo, en el caso analizado), y el cambio global está dado por la integración de los productores y mercados de una región o país. (Fig.10)

Figura 10. Modificaciones en la vulnerabilidad de un sistema frente a acciones antrópicas



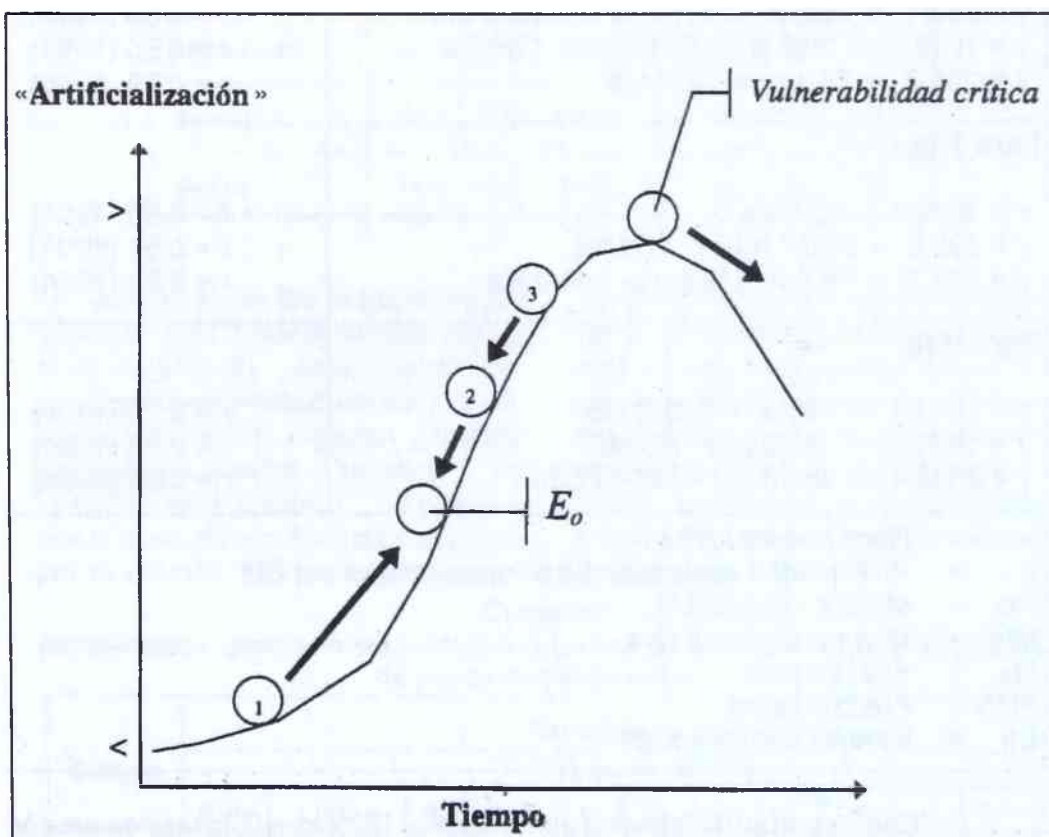
Fuente: Gastó, J. y col., 1997.

En este modelo al aplicar una acción externa el sistema suelo cambia desde un estado "óptimo" E_o a un estado alterado E_j . La distancia entre estos dos estados posibles, es la vulnerabilidad del sistema, que se manifiesta en un impacto ambiental negativo. Efectivamente esto ha ocurrido históricamente con los suelos de la región Pampeana y si bien se han dado ciclos en general breves de recuperación ambiental, la vulnerabilidad de los suelos se mantuvo elevada.

El estado óptimo (E_o) del sistema suelo y los distintos estados de vulnerabilidad son dinámicos y

pueden moverse en un sentido u otro, incrementando la vulnerabilidad (impacto ambiental negativo) o disminuyéndola (impacto ambiental positivo). Si la vulnerabilidad se incrementa excesivamente se puede alcanzar el estado de "vulnerabilidad crítica" en la cual el suelo se degrada al extremo de ser irreparable en términos físicos y/o económicos (Fig. 11). Esto ocurre frecuentemente en los ecosistemas más frágiles como aquellos de regiones áridas y semiáridas, suelos someros y suelos en pendientes susceptibles a procesos de erosión hídrica.

Figura 11. Vulnerabilidad de un sistema en función del grado de «artificialización» - intervención antrópica.



Fuente: Gastó, J. y col., 1997.

4 - CAUSAS DE DISMINUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS

Si bien las causas que determinan la disminución de la productividad de los suelos son múltiples e interactúan entre sí, algunas de ellas tienen una incidencia mayor que el resto.

Un estudio efectuado por Irurtia y Mon (2000) sobre un amplio sector afectado por erosión hídrica en el norte de la provincia de Buenos Aires permitió obtener ecuaciones de regresión simple y múltiple entre diferentes parámetros edáficos y el rendimiento de cultivos de soja, trigo y maíz (Cuadro 5).

Cuadro 5

Correlación entre rendimientos de soja, trigo y maíz, y parámetros edáficos en Argiudoles de la Pampa ondulada (Irurtia y Mon, 2000)

<p>Para Soja</p> $y = 1211,2 + 41,0.p + 115,4.mo + 17,8.fos$ $y = 1724,1 + 71,1.p - 21,8.Ea$ $y = 699,1 + 35,6.p + 51,9.fos + 253,3.mo$ $y = 1648,6 + 26,8.p + 52,0.mo - 17,6.Ea$ $y = 258,7 + 74,1.p + 32,3.fos$	$r = 0,70$ (1990) $r = 0,54$ (1991) $r = 0,68$ (1992) $r = 0,60$ (1993) $r = 0,79$ (1994)
<p>Para Trigo</p> $y = 3232,4 - 26,8.Ea$ $y = 895,0 + 210,7.mo + 31,6.fos$ $y = 954,7 + 79,5.p + 2,5.mo - 14,4.Ea$	$r = 0,60$ (1991) $r = 0,53$ (1993) $r = 0,68$ (1994)
<p>Para Maíz</p> $y = 1071,1 + 180.p + 340,6.mo$ $y = 1869,5 + 162,0.p + 7,5.MO$ $y = 2586,4 + 28,4.MO + 48,4.FOS$	$r = 0,70$ (1994) $r = 0,69$ (1994) $r = 0,64$ (1994)
<p> y = Rendimiento kg/ha p = Profundidad capa superficial hasta cabeza del B2t mo = Materia orgánica % MO = Materia orgánica t/ha fos = Fosforo ppm FOS = Fosforo kg/ha Ea = Erosión hídrica actual </p>	

Los resultados obtenidos muestran que los parámetros que mejor correlacionan con los rendimientos son la profundidad del horizonte

argílico (B_2 textural), la tasa de erosión actual y los contenidos de materia orgánica y fósforo asimilable.

En Argiudoles típicos de la Pampa Ondulada con grados variables de erosión hídrica y degradación del suelo se observó un descenso gradual de la materia orgánica a medida que aumenta el grado de erosión, en aproximadamente 0,1% por cada

centímetro de suelo perdido (Cuadro 6). En el caso del fósforo asimilable, la disminución del contenido es escasa con erosión ligera moderada, pero se acentúa con los grados severo y grave (Michelena y col, 1989).

Cuadro 6

Valores de parámetros edáficos en Argiudoles típicos de la pampa ondulada con diferente intensidad de degradación (Michelena y col., 1989)

Grado de erosión y degradación del suelo	Prof cm.	Materia Orgánica		Fósforo asimilable		Erosión t/ha. año	
		%	t/ha	ppm	kg/ha	Pot.	Actual
Nulo	34.0	3.4	136.4	29	116	50	13
Ligero	31.5	3.4	126.4	29	108	50	13
Moderado	26.5	2.8	86.2	26	80	56	20
Severo	19.0	2.5	55.1	12	28	78	28
Grave	14.0	1.9	31.9	10	16	157	57

La aplicación de las ecuaciones de regresión a los cultivos de soja, trigo y maíz (Cuadro 5) considerando los valores de profundidad del suelo, contenidos de materia orgánica y fósforo asimilable y erosión (Cuadro 6) se muestran en el cuadro 7. Se observa que el maíz es el cultivo más afectado por la erosión, ya que la pérdida de

7,5 centímetros de suelo superficial (erosión moderada) le ocasiona mermas en los rendimientos del 22 por ciento, mientras que estas pérdidas se incrementan al 44 y 55 por ciento respectivamente en los grados severo y grave. Las mermas de rendimiento por erosión en trigo y soja son menores (Iruetia y Mon, 2000).

Cuadro 7

Rendimientos promedio para diferentes grados de erosión hídrica en Argiudoles de pampa ondulada (Iruetia y

Cultivo	Rendimiento kg/ha								
	Grado de erosión								
	Nulo	Ligero	%	Mod.	%	Severo	%	Grave	%
Soja	3584	3459	4	3022	16	2297	36	1720	52
Trigo	2973	2907	2	2583	7	2124	20	1521	49
Maíz	9622	9080	6	7503	22	5403	44	4310	55

5.- LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Identificadas las causas principales de la declinación de la productividad de los suelos, la producción sustentable debe basarse en sistemas conservacionistas que permitan controlar dichas causales. Indudablemente y a la luz de los conocimientos actuales y la experiencias recogida, la siembra directa aparece como el sistema que resuelve la ecuación controlando la erosión, incrementando el contenido de materia orgánica y mejorando la fertilidad del suelo.

El control de la erosión

Desde su creación en 1944 el Instituto de Suelos y Agrotecnia del INTA destacó la importancia del proceso erosivo tanto hídrico como eólico en el País. Los principios sustentados desde ese entonces para controlar la erosión se basaban en aumentar la infiltración del agua de lluvia creando rugosidad o "barreras" que impidieran su desplazamiento y en el mantenimiento en superficie de un "mulch" de residuos vegetales (Instituto de Suelos y Agrotecnia, 1956).

Comenzó así a difundirse un paquete de tecnologías conservacionistas tales como el cultivo en contorno, terrazas de absorción, terrazas de desagüe y franjas en contorno para el control de la erosión hídrica. En el caso de la erosión eólica, tal como se comentó, la lucha se basó en sistemas de labranza que dejaran cobertura en superficie empleando herramientas como el arado rastra, cultivador pie de pato y la varilla escardadora rotativa.

En la década del 80, ya en pleno proceso de "agriculturización" de la Región Pampeana y ante el avance de los procesos degradatorios

cobró fuerza el concepto de agricultura conservacionista basada en la reducción de las labranzas, empleo del arado cincel (labranza vertical), cobertura superficial con residuos vegetales y rotaciones que incrementaran el contenido de materia orgánica de los suelos (Casas, 1998). Comenzó a difundirse el concepto de calidad del suelo que implica una visión global sobre la conservación no solamente de su integridad física, sino de sus funciones. Es así que las investigaciones y diagnósticos prestan especial atención a los procesos físicos superficiales (sellos y costras) y subsuperficiales (pisos de arado y rastra), químicos (balance de nutrientes y fertilización balanceada) y biológicos (niveles de materia orgánica humificada).

Los conceptos sustentados desde la década del 40 para controlar la erosión basados en el mantenimiento de un "mulch" de rastrojos sobre el suelo y en el aumento de la infiltración tuvieron en los Ings. Agrs. Antonio J. Prego (1948, 1950, 1951, 1954) y Jorge Molina (1965) sus máximos referentes en cuanto a predicamento y difusión. Estos conceptos y los concernientes a calidad del suelo, se integraron y plasmaron en el sistema de siembra directa, sobre el que el INTA inició investigaciones a través del Instituto de Ingeniería Rural y las Estaciones Experimentales de Pergamino y Marcos Juárez en las décadas del 70 y 80. El sistema comenzó a tener una fuerte difusión desde principios de los 90 merced al impulso brindado por la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), que permitió superar hacia fines de la década los 10 millones de hectáreas cultivadas con siembra directa.

El sistema de siembra directa basa su alta eficiencia en el control de

la erosión, por el mantenimiento en superficie de importantes niveles de cobertura aportada por los rastrojos de los cultivos. Estos rastrojos protegen al suelo del impacto de la gota de lluvia evitando así que la energía almacenada destruya los agregados del suelo. Además crean rugosidad y

actúan como barreras al desplazamiento del agua de lluvia, facilitando su infiltración en el suelo.

En el cuadro 8 se observa el efecto de la cobertura de rastrojos sobre el escurrimiento superficial y la erosión hídrica, aplicando lluvia simulada (Casas, 1998).

Cuadro 8: Infiltración, escurrimiento y erosión aplicando lluvia simulada (120 mm/h) en suelos de la serie Oncativo (Pcia. de Córdoba) con distintos usos (Instituto de Suelos del INTA, 1995).

Uso del suelo	Profundidad lámina de agua (cm)	Escurrimiento (%)	Pérdida de suelo (gr.)	Índice de erosión (gr. k.joule ⁻¹)
Virgen con rastrojo	35	0	0	0
Virgen desnudo	16	33	18	167
20 años agricultura con rastrojo	16	45	1	7
20 años agricultura desnudo	14	62	43	383
40 años agricultura con rastrojo	10	66	2	16
40 años agricultura desnudo	8	62	49	438

Si bien estos valores deben tomarse como índices relativos entre tratamientos, están indicando claramente una muy escasa pérdida de suelo en siembra directa. Otros autores informan sobre pérdidas de suelo de 1,8 Tn/ha en soja y 0,90 Tn/ha en trigo, en Marcos Juárez (Marelli, 1998) y 3,4 Tn/ha en cultivo de maíz en Paraná (Scotta y Garcarena, 1996), lo cual implica una reducción de la erosión ente 4 y 5 veces en relación a la labranza convencional. En todos los casos, las tasas de erosión consignadas por los distintos autores para el sistema de siembra directa, se ubican en menos de un tercio del valor de erosión tolerable establecido en 10 Tn/ha, como valor orientativo.

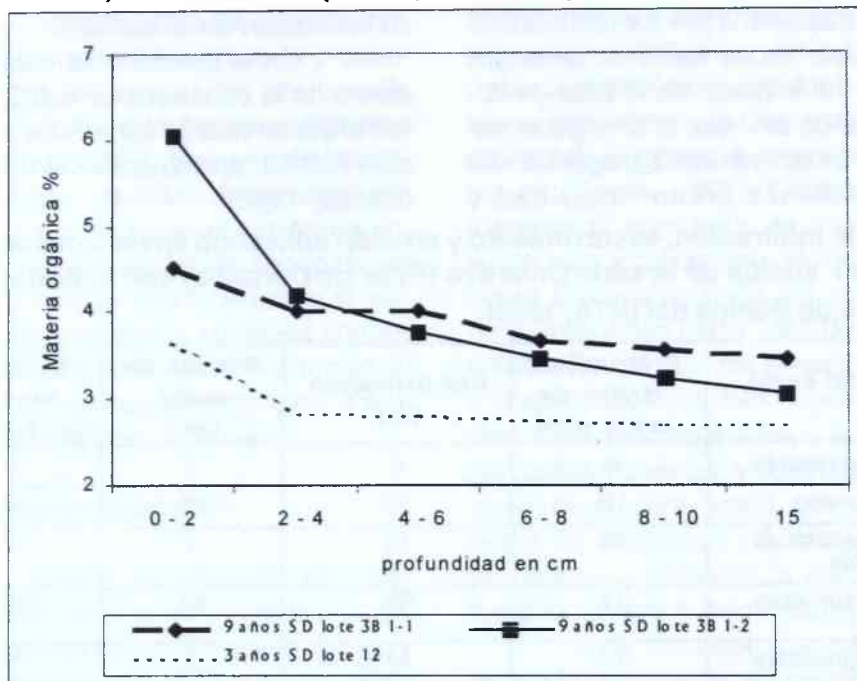
En áreas onduladas y con suelos de baja infiltración en condiciones saturadas es aconsejable integrar en el sistema de siembra directa, prácticas mecánicas que acorten la longi-

tud de la pendiente, como las terrazas de desagüe. Esta combinación permite un excelente control de la erosión hídrica.

Incremento de la materia orgánica humificada

La siembra directa promueve el proceso de humificación de la materia orgánica en sus formas más estables a través de la formación de complejos órgano – minerales. En la Figura 12 y cuadro 9 se muestran los contenidos de materia orgánica en un suelo Hapludol típico, de Venado Tuerto, provincia de Santa Fé. En el mismo se efectuó un muestreo compuesto estratificado cada dos centímetros de profundidad (entre 0 y 10 cm) y también a 15 centímetros de profundidad. Los lotes 3B1-1 y 3B1-2 tienen 9 años de directa, mientras que el lote 12 tiene 3 años de directa.

Figura 12. Contenido de materia orgánica del suelo a distintas profundidades. Est. La Unión, Venado Tuerto (Casas, R.R., 2001)



Cuadro 9. Contenido de materia orgánica del suelo a distintas profundidades. Est° La Unión, Venado Tuerto (Casas, 2001)

LOTE	PROFUNDIDAD (CM)						\bar{x} 0-15
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	15	
9 años SD Lote 3 B1-1	4,52	4,02	4,00	3,67	3,57	3,45	3,82
9 años SD Lote 3 B1-2	6,05	4,19	3,75	3,45	3,22	3,05	3,79
3 años SD Lote 12	3,65	2,84	2,81	2,76	2,71	2,71	2,87
Agricultura Convencional	2,67 (0-15 cm)						2,67

Como se puede observar, los contenidos de materia orgánica en siembra directa, son muy superiores a los de los suelos con agricultura convencional en los 4 á 5 centímetros superficiales del perfil, pero continúan siendo superiores aún a 15 centímetros de profundidad. Esta diferencia se acentúa con

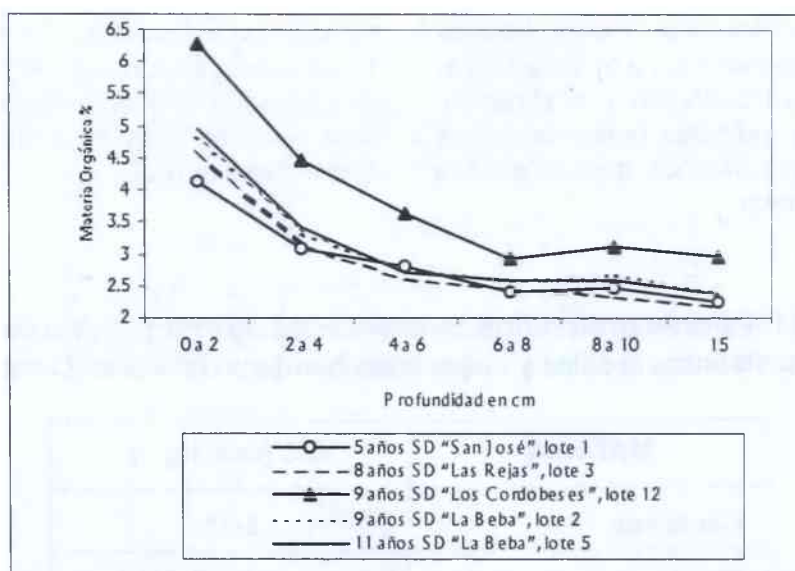
los años de siembra directa, superando a la convencional en más del 1 por ciento de materia orgánica (como valor promedio para la profundidad de 0-15 cm) en los lotes con 9 años de directa.

En el cuadro 10 y figura 13 se observan los resultados de estudios en Argiudoles vérticos en los

que también los contenidos de materia orgánica se incrementan significativamente hasta una profundidad de 5 - 6 centímetros en relación a los suelos con agricultura convencional. Es destacable el caso

del Argiudol vértico de la serie Ramírez por su mayor capacidad diferencial de captación de carbono lo cual está relacionado con el tipo de arcilla de retículo expandible de estos suelos.

Figura 13. Contenido de materia orgánica del suelo a distintas profundidades en Argiudoles vérticos de la región Pampeana. Establecimientos "La Beba", serie Peyrano; "Las Rejas", serie Roldán; "San José", serie Roldán y "Los Cordobeses", serie Ramírez (Casas, 2001).



Cuadro 10. Contenido de materia orgánica del suelo a distintas profundidades en Argiudoles vérticos de la Región Pampeana. Establecimientos «La Beba», serie Peyrano; «Las Rejas», serie Roldán; «San José», serie Roldán y «Los Cordobeses», serie Ramírez. (Casas, R. R., 2001)

LOTE	PROFUNDIDAD (CM)						\bar{x} 0-15
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	15	
5 años SD "San José" - Lote 1	4,14	3,08	2,79	2,41	2,45	2,26	2,76
8 años SD "Las Rejas" - Lote 3	4,60	3,15	2,62	2,45	2,33	2,19	2,77
9 años SD "Los Cordobeses" -Lote 12	6,27	4,46	3,62	2,93	3,10	2,95	3,72
9 años SD "La Beba" -Lote 2	4,84	3,33	2,78	2,59	2,67	2,40	3,01
11 años SD "La Beba" -Lote 5	4,97	3,41	2,72	2,59	2,58	2,38	3,00
Agricultura Convencional	2,57 (0-15 cm)						2,57

El aumento de la fertilidad del suelo

En relación con el punto anterior, se puede afirmar que la fertilidad de un suelo está estrictamente ligada a su contenido de materia orgánica. Este aspecto es vital para comprender que cualquier sistema de uso y manejo, que incremente los niveles de materia orgánica mejorará la fertilidad del suelo. Cuando aumenta la materia orgánica humificada se consigue: a) incrementar la capacidad de intercambio catiónico y b) incrementar la actividad biológica y enzimática. Estos dos aspectos tienen una gran significancia práctica que se analiza seguidamente.

Una de las propiedades más importantes de los suelos es su capacidad para retener e intercambiar iones sobre las superficies coloidales minerales y orgánicas. En estas fracciones coloidales se encuentran principalmente las arcillas y el humus del suelo. A mayor capacidad de intercambio catiónico, mayor será la posibilidad de absorber cationes y aniones, los cuales en equilibrio con la solución del suelo podrán estar disponibles para la nutrición de las plantas. En el cuadro 11 se consignan los valores promedio de capacidad de intercambio catiónico para distintos tipos de arcillas y las sustancias húmicas.

Cuadro 11: Valores promedios de capacidad de intercambio catiónico (CIC) para distintas arcillas y sustancias húmicas del suelo (Conti, 1998).

MATERIA	CIC (mol. Kg. ⁻¹)
Caolinitas	5-15
Cloritas	10-40
Illitas	20-50
Esmectitas	80-150
Sustancias húmicas	200-500

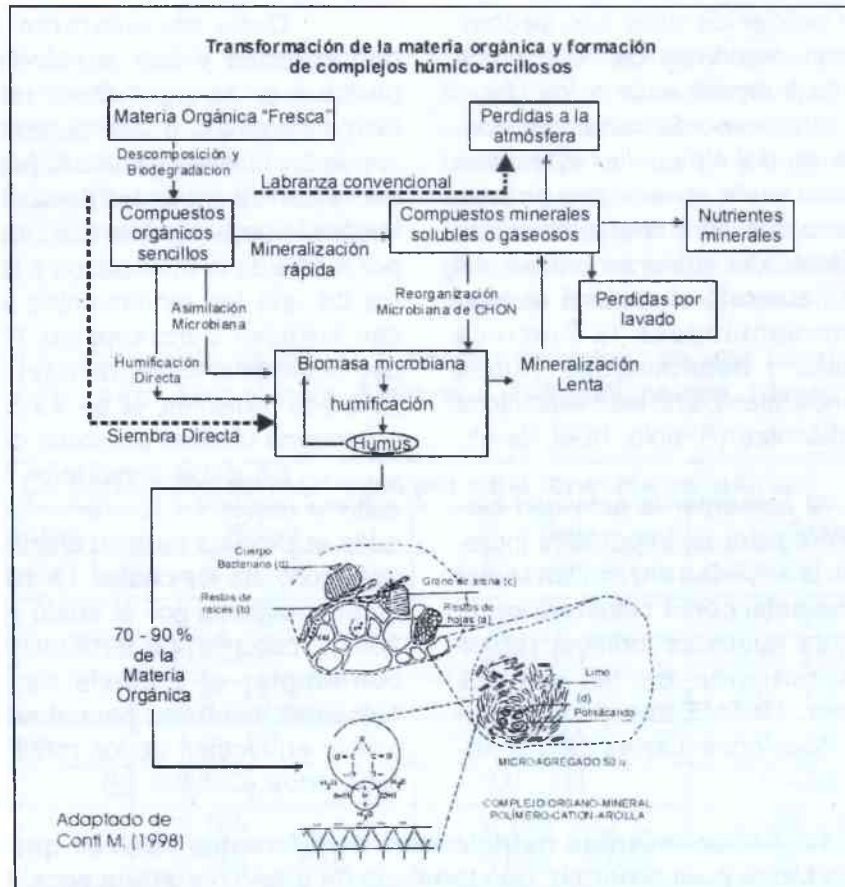
Como se observa, el humus del suelo posee una CIC muy superior a la mayoría de las arcillas minerales. Si bien el productor no puede modifi-

car la calidad de la arcilla, puede incrementar el contenido húmico y con ello la fertilidad de los suelos (Crovetto, 2001).

En los molisoles de regiones templadas, más del 70 por ciento de la materia orgánica está ligada a la fracción mineral, especialmente a las arcillas, formando los complejos húmico-arcillosos (Fig. 14). La importancia de

la formación de estos complejos radica en que el humus bajo esta forma reduce las posibilidades de ser atacado por los microorganismos, logrando una mayor perdurabilidad (Conti, 1998).

Figura 14



El sistema de siembra directa favorece el proceso de humificación al mantener un medio poroso que provee adecuada (pero no excesiva) aireación, alternancia con breves períodos de anaerobiosis parcial, adecuado nivel de humedad y temperaturas medias. En estas condiciones es muy importante la actividad de la mesofauna, especialmente las lombrices, que desempeñan un rol decisivo

en la formación de los complejos húmico-arcillosos mediante la ingestión de limo, arcilla y materia orgánica. En el tracto digestivo se mezclan, incorporándose además calcio y microorganismos. El contenido de cationes bivalentes, principalmente calcio y magnesio, es de fundamental importancia para la formación de los complejos húmico-arcillosos.

El otro aspecto de importancia vital que se produce cuando aumenta la materia orgánica del suelo, es el incremento de la actividad biológica y enzimática. La biomasa microbiana del suelo está formada por las bacterias, hongos, protozoos y algas. Interviene en la transformación de la materia orgánica, tiene la capacidad de reciclar los nutrientes, se comporta como reservorio de los mismos durante la inmovilización y los libera durante el proceso de mineralización. En un argiudol típico serie Marcos Juárez con maíz en siembra directa, se observó que al aumentar la materia orgánica del suelo se provee del sustrato necesario al sistema biológico, incrementándose la biomasa microbiana y determinados grupos bacterianos tales como las celulolíticos y los nitrificantes (Rímolo, 1998, Bergh, 1997).

Al aumentar la actividad biológica se registra un importante incremento de la actividad enzimática la que es fundamental como catalizadora de reacciones químicas indispensables para la nutrición de las plantas (Alexander, 1980). Estas enzimas actúan en reacciones claves para la fer-

tilidad del suelo como ser el desdoblamiento de la urea por la ureasa, solubilización de fosfatos bi y tricálcicos por la fosfatasa, transformación del azufre elemental en sulfato por la arilsulfatasa y la descomposición de polisacáridos como la celulosa y hemicelulosa por enzimas extracelulares (Crovetto, 2001).

Debe considerarse que el germoplasma y las tecnologías empleadas en la agricultura moderna incrementan día a día los rendimientos de los cultivos y con ello la tasa de extracción de nutrientes del suelo. Este implica la necesidad de una reposición por medio de la fertilización a los efectos de que los rendimientos se puedan sostener o incrementar. Para poder determinar con precisión el contenido de nutrientes, es de fundamental importancia efectuar el análisis de suelo.

Se debe considerar que los cultivos requieren 16 elementos minerales esenciales para su crecimiento y desarrollo, de los cuales 13 deben ser proporcionados por el suelo (García, 2001). Todo plan de fertilización debe contemplar el análisis de los 13 nutrientes minerales para abastecer al cultivo en función de los rendimientos esperados (Cuadro 12).

Cuadro 12: Requerimientos nutricionales de diferentes cultivos que deben ser absorbidos para producir una tonelada de grano o materia seca. Promedio de referencias bibliográficas (García, 2001).

Nutrientes	Maíz	Soja	Trigo	Girasol	Alfalfa
		Kg./Tn. grano - materia seca			
Nitrógeno	22	80	30	40	27
Fósforo	4	8	5	5	2,7
Potasio	19	33	19	28	21
Calcio	3	16	3	18	12
Magnesio	3	9	3	11	3
Azufre	4	7	4,5	5	3,5

Boro	0,020	0,025	0,025	0,165	0,030
Cloro	0,44	0,237	-	-	-
Cobre	0,013	0,025	0,010	0,019	0,007
Hierro	0,125	0,300	0,137	0,261	0,040
Manganeso	0,189	0,150	0,070	0,055	0,025
Molibdeno	0,001	0,005	-	0,029	0,0003
Zinc	0,053	0,060	0,052	0,099	0,015

El criterio del balance de nutrientes resulta muy práctico y útil al momento de decidir la fertilización del cultivo según el rendimiento establecido como objetivo, sin agotar las existencias de nutrientes existentes en el suelo.

Un aspecto no siempre tenido en cuenta al momento de este balance, es la cantidad de nutrientes liberados por los rastrojos de cultivos anteriores y que en el sistema de siembra directa asume una importancia muy grande, al momento del cálculo de la dosis de fertilizante (Cuadro 13).

Cuadro 13: Contenido de macro y micro nutrientes en una tonelada de rastrojos de trigo, soja y maíz. (Malavolta, 1987; Michelena, Rivero y col., 2001).

Contenido (kg. de nutrientes por cada tonelada de rastrojo)			
Nutrientes	Trigo	Soja	Maíz
Nitrógeno	4,9 - 10	8,0 - 8,2	0,7 - 6
Fósforo	0,8 - 1,3	8,8 - 0,9	0,5 - 0,9
Potasio	5,0 - 16	2,1 - 6,0	3,2 - 14,0
Calcio	2,5 - 15,2	7,0 - 10,0	2,5 - 7,0
Magnesio	1,0 - 1,3	1,4 - 3,0	1,8 - 2,9
Azufre	0,7 - 1,8	0,6 - 0,9	0,5 - 0,8
Hierro	0,100	0,133 - 0,200	0,180 - 0,200
Zinc	0,010 - 0,016	0,007 - 0,013	0,012 - 0,020
Cobre	0,003 - 0,004	0,006 - 0,014	0,005 - 0,008
Manganeso	0,082 - 0,600	0,063 - 0,113	0,025 - 0,127
Boro	0,002 - 0,040	0,004 - 0,055	0,007 - 0,012

La fertilización balanceada con todos los elementos requeridos por los cultivos y que sean deficitarios en el suelo constituye uno de los pilares de la producción sustentable, al evitar que la exportación continua de nutrientes, produzca el agotamiento de los suelos. En esta dirección, el sis-

tema de agricultura de precisión mediante los mapas de rendimiento, los controladores de dosis variables de fertilizantes y el empleo de mapas de suelos e imágenes satelitales de alta resolución, constituye una herramienta muy valiosa para optimizar la dosificación de fertilizantes minimizando el impacto ambiental negativo.

La siembra directa: hacia una agricultura de beneficios ambientales

La siembra directa es un sistema productivo que comenzó su difusión hacia principios de la década del 90, cobrando un fuerte impulso desde mediados de la década en adelante. Cuando se habla de los beneficios ambientales de la siembra directa se plantea un sistema de agricultura que, además de permitir la obtención de rendimientos elevados en forma sostenida, conserva el suelo, el agua e incrementa la materia orgánica edáfica.

Los rastrojos en superficie actúan como verdaderos "paraguas" que disipan la energía de las gotas de lluvia evitando así la desagregación y acción erosiva del agua. Del mismo modo, el suelo también es protegido de la acción eólica en regiones semiáridas o en épocas secas. La presencia de la cobertura determina una mayor infiltración del agua de lluvia y una reducción muy significativa de la tasa de evaporación directa.

Es sabido que la agricultura de labranza tradicional incrementa en forma directa la liberación de dióxido de carbono proveniente de la oxidación de la materia orgánica del suelo, la descomposición de la biomasa vegetal y el uso de combustibles fósiles. Según el uso y manejo del suelo, éste puede comportarse como sumidero de carbono (fijación o "secuestro") o como fuente de emisión de dióxido de carbono hacia la atmósfera. La siembra directa puede desempeñar un rol preponderante en el secuestro de carbono en el suelo debido a su capacidad de acumular materia orgánica en el horizonte superficial e incrementar el proceso de humificación. Como una contribución sectorial al compromiso suscripto por los Países para la reduc-

ción de sus emisiones gaseosas resulta importante valorar en su real dimensión el aporte que puede realizar la agricultura argentina, mediante el sistema de siembra directa.

Por último, en la introducción de este trabajo se comentó la necesidad de incrementar la producción agrícola de los agrosistemas a escala mundial. Ello evitaría la incorporación a la producción de tierras ubicadas en ecosistemas frágiles como son los bosques tropicales y subtropicales. En función de la experiencia adquirida en nuestro País en esta última década, se ha demostrado que es posible incrementar la producción mediante el sistema de siembra directa en los ecosistemas usados actualmente.

6 - CONCLUSIONES

La agricultura mundial de las próximas décadas deberá tener productividad creciente a los efectos de poder satisfacer el aumento de la demanda de alimentos sin necesidad de recurrir a nuevas tierras, ya que esto implicaría incrementar la degradación de los suelos y la desaparición de numerosas hectáreas con bosques con una enorme pérdida de biodiversidad. Esta situación generará una mayor presión sobre los recursos naturales y un conflicto con los fundamentos del uso sustentable.

En la Argentina, la agricultura también tendrá productividad creciente ya que continúa siendo muy grande la brecha existente entre la producción media por unidad de superficie y la producción obtenida por los agricultores que aplican tecnologías modernas.

Los procesos biológicos en los sistemas agrícolas se tornarán cada vez más vitales, debiendo ser

controlados desde “adentro” del sistema, más que a través de la introducción de energía externa. En este sentido se hace fundamental plantear sistemas agrícolas en su concepción más amplia que incrementen el contenido de materia orgánica humificada del suelo y logren estabilizarla mediante la formación de complejos húmico-arillosos.

El ciclo de los nutrientes en los establecimientos agropecuarios debe ser más cerrado que en la actualidad apuntando a que el cultivo

capture la mayor parte de los nutrientes adicionados mediante la fertilización balanceada. Mejorando los métodos de diagnóstico, las técnicas y momentos de aplicación, se deberán minimizar las pérdidas por volatilización, lixiviación y erosión, por mencionar las más importantes. El desarrollo de la agricultura de precisión permitirá ajustar las dosis de nutrientes y agroquímicos a las necesidades de los cultivos, evitando así los efectos ambientales negativos que pueden provocar las dosis excesivas (Fig. 15).

Figura 15



La agricultura de precisión y la biotecnología constituyen herramientas básicas para una agricultura de “beneficios ambientales” (además de los productivos), no contaminante, que incremente la materia orgánica humificada y que proteja la integridad del suelo.

A la luz de los conocimientos y experiencia obtenida hasta la actualidad, el sistema de siembra directa es el que más se aproxima al sistema de cultivo ideal del suelo, contribuyendo en gran medida a poner freno al proceso erosivo generalizado que existe en la Argentina.

El pasado brinda experien-

cias que constituyen la materia prima para el desarrollo del nuevo paradigma en la agricultura: la implementación del modelo requiere nuevas actitudes, nuevas políticas, nuevas tecnologías y la incorporación continua de nuevos conocimientos por parte de todos los actores involucrados. Pero pese a todo lo que podemos pensar, decir, escribir y realizar, la conservación de la integridad y las funciones del suelo continuará siendo el principal factor relacionado con el desarrollo de sistemas agrícolas sustentables.

Nada más y muchas gracias por la gentil atención.

7.-BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. AGT. Editor S.A. México.
- ARENA, A. y R.J. GUIÑAZU. 1940. La erosión eólica de los suelos en el centro-oeste de la República Argentina. Reconocimiento preliminar del efecto del viento sobre los suelos del territorio de La Pampa y zonas limítrofes. Dirección de Propaganda y Publicaciones del Ministerio de Agricultura de la Nación. Publicación Miscelánea N°65. Buenos Aires.
- BOVET, P.A. 1910. El problema de los médanos en nuestro país (con especial referencia a los del sur de Córdoba y San Luis). Dirección de Enseñanza Agrícola. 155 pp. Buenos Aires.
- BOVET, P.A. 1912. Como encarar nuestro problema de los médanos. Congreso Forestal Frutícola. 5-33 pp. Buenos Aires.
- BERGH, R.G. 1997. Dinámica del nitrógeno y rendimiento del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Tesis. Universidad Nacional de Mar del Plata. EEA INTA Balcarce.
- CASAS, R.R. 1998. Causas y evidencias de la degradación de los suelos en la región Pampeana. En: Hacia esa agricultura productiva y sostenible en la pampa. Harvard University; David Rockefeller Center for Latin American Studies; Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica. Orientación Gráfica Editora S.R.L. Buenos Aires.
- CONTI, M.E. 1998. Materia orgánica del suelo. En: Principios de edafología, con énfasis en suelos argentinos. 1ª. Edición. Orientación Gráfica Editora S.R.L.
- COSCIA, A. 1988. La agriculturización en la región Pampeana. En: Degradación de suelos por intensificación de la agricultura. Informe del Taller organizado por el CONICET. Estación Experimental del INTA Rafaela. Publicación miscelánea N°47.
- CROVETTO, C. 2001. La siembra directa y su relación con la fertilidad de los suelos. En: 9° Congreso Nacional de AAPRESID. Tomo I: Conferencias. Mar del Plata, Argentina.
- DEL VALLE, H.F.; ELISSALDE, N.O.; GAGLIARDINI, D.A. y J. MILOVICH. 1997. Distribución y cartografía de la desertificación en la región de Patagonia. RIA 28 (1):1-24.
- FERREYRA, E. 1910. Arenas movedizas y médanos. Ministerio de Agricultura. Dirección de Enseñanza Agrícola N°14. Buenos Aires.

- FERREYRA, E. 1913. Arenas movedizas y médanos. Capítulo del plan general de experimentación. Ministerio de Agricultura. Dirección de Enseñanza Agrícola, N°61 1-23 pp. Buenos Aires.
- FLIESS, H.E. 1892. La producción agrícola y ganadera argentina en 1891. Buenos Aires. 450 pp.
- GARCIA, F.O. 2001. Hacia la sustentabilidad nutricional de los suelos. En: siembra directa: resúmenes del primer seminario de AAPRESID para estudiantes. AAPRESID, 101 pp.
- GASTO, J; VELEZ, L. D y C. D´ANGELO. Gestión de Recursos Vulnerables y Degradados. En: Libro Verde; elementos para una política agroambiental en el cono sur. Programa Cooperativo para el desarrollo tecnológico agropecuario del cono sur (PROCISUR) Montevideo
- GIROLA, C. 1919. Fijación de médanos. Primer Congreso de Agricultura de Córdoba. Anales de la Sociedad Rural Argentina. 205-207 pp. Buenos Aires.
- INSTITUTO DE SUELOS Y AGROTECNIA. 1948. La erosión eólica en la región Pampeana y plan para la conservación de los suelos. Publicación miscelánea N° 303. Ministerio de Agricultura. 235 pp.
- INSTITUTO DE SUELOS Y AGROTECNIA. 1956. Conservación del suelo y del agua. Publicación miscelánea N°416. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 118 pp.
- IRURTIA, C. y R. MON. 2000. Impacto de la erosión hídrica en la producción de granos en Argiudoles típicos de la pampa ondulada. 11ª. Conferencia de la Organización Internacional de la Conservación del Suelo (ISCO). Actas. Buenos Aires. (en prensa).
- ISSOURIBEHHERE, P.J. 1901. Fijación de las arenas por la plantación de árboles. Ministerio de Agricultura. Boletín Oficial de Agricultura y Ganadería. 182-183 pp. Buenos Aires.
- LUIGGI, L. 1901. Plantación para consolidación de los arenales alrededor de las obras del Puerto Militar. "La Agricultura" VIII. 28-30 pp. Buenos Aires.
- MALAVOLTA, E. 1987. Manual de calagem y e adubacao das principais culturas. San Pablo , Brasil.
- MARELLI, H.J. 1998. La siembra directa como práctica conservacionista. En: siembra directa. INTA. Ed. Hemisferio Sur.
- MICHELENA, R.O.; Irurtia, C.B.; Vavruska, F.; Mon, R. y A. Pittaluga. 1989. Degradación de suelos en el norte de la región Pampeana. INTA, Proyecto de Agricultura Conservacionista. Publicación Técnica N°6. Estación Experimental Agropecuaria INTA-Pergamino.

- MIATELLO, H. 1915. Problemas agrícolas. Fijación de médanos en el país. Boletín del Ministerio de Agricultura XIX. 167-176 pp. Buenos Aires.
- MORELLO, J. MARCHETTI, B. RUSSO, C., HECKER, E. Y P. CICHERO. 1991. Agricultura continua y degradación ambiental en el núcleo maicero de la pampa argentina. Centro de Estudios Avanzados – UBA. Serie Informes.
- ORTIZ, J.A. 1901. La colonización en la Provincia. Breve reseña de un estudio agronómico sobre un campo ubicado en Trenque Lauquen. Boletín de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Buenos Aires. 172-183 pp. La Plata.
- PIZARRO, J.B. 1997. Cambios en el uso de la tierra y en la organización social de la producción. Sus consecuencias socioeconómicas y ambientales. En: ¿Argentina granero del mundo hasta cuándo? La degradación del sistema agroproductivo de la pampa húmeda y sugerencias para su recuperación. Centro de Estudios Avanzados de la UBA; Harvard University; INTA; Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires. 280 pp.
- PREGO, A.J. 1948. Almacenamiento y conservación del agua en el suelo. Almanaque M.A.G. Año XXIII. Buenos Aires.
- PREGO, A.J. 1950. Práctica del barbecho estival. Almanaque M.A.G. Año XXV. Buenos Aires.
- PREGO, A.J. 1951. Conservación del suelo. IDIA IV (42-43). Dirección General de Investigaciones Agrícolas. M.A.G. Buenos Aires.
- PREGO, A.J. 1954. Almacenamiento y conservación del agua en el suelo en la región semiárida pampeana. IDIA, VII (81). Dirección General de Investigaciones Agrícolas. M.A.G. Buenos Aires.
- PROSA. 1988. El deterioro del ambiente en la Argentina. Fundación para la Educación la Ciencia y la Cultura (FECIC). Gráfica General Belgrano Cooperativa de Trabajo Ltda. 497 pp.
- RIMOLO, M.M. 1998. Procesos microbiológicos del suelo. En: Siembra directa. INTA. Editorial Hemisferio Sur.
- SAUBERAN, C. y J. MOLINA. 1965. Soluciones a los problemas del campo. Causas que disminuyen la producción agrícola y ganadera argentina. Fundación Bolsa de Comercio. 167 pp.
- SCOTTA, E.S. y N.A. GARCIARENA, 1996. Estimación de las pérdidas por erosión hídrica y su valor económico en maíz. EEA Paraná del INTA. Argentina.

- SENASA – SAGPyA. 2000. Estadísticas sobre consumo anual de fertilizantes. Buenos Aires.
- SENIGAGLIESI, C. 1991. Estado actual y manejo de los recursos naturales particularmente el suelo, en el sector norte de la pampa húmeda. Seminario Juicio a nuestra Agricultura. Buenos Aires. Hemisferio Sur.
- SOLBRIG, O.T. 1999. Bases para una agricultura de altos rendimientos. Nuestro campo. Año VII, N° 66.
- SOLBRIG, O.T. y J. MORELLO. 1977. Reflexiones generales sobre el deterioro de la capacidad productiva de la pampa húmeda argentina. En: ¿Argentina granero del mundo hasta cuándo? La degradación del sistema agroproductivo de la pampa húmeda y sugerencias para su recuperación. Centro de Estudios Avanzados de la Universidad de Buenos Aires; Harvard University; INTA; Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires.
- SOLBRIG, O.T. 1995. Conferencia magistral. Actas de la Conferencia Mundial de la Ingeniería y la Alimentación; "Propuesta para el siglo XXI. Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica". Buenos Aires
- VIGLIZZO, E. F. 1994. El INTA frente al desafío del desarrollo agropecuario sustentable. En: Desarrollo agropecuario sustentable. INTA-INDEC. 85 pp.

A N E X O

Fotografía 1. El empleo de tractores más potentes y equipos de mayor ancho de labor permitieron la intensificación de las labranzas, ocasionando el desmejoramiento de la estructura y la compactación del suelo.

Fotografía 2. El laboreo continuo reduce el contenido de materia orgánica del suelo al aumentar la tasa de mineralización.

Fotografía 3. El rolo desterronador destruye los agregados del suelo, favoreciendo el posterior “planchado” y sellado de la superficie por efecto de las lluvias.

Fotografía 4. Suelo deficientemente estructurado con sellos y costras superficiales.

Fotografía 5. La erosión hídrica laminar constituye la primera fase del proceso erosivo, pudiendo ser imperceptible a la vista del productor agropecuario.

Fotografía 6. Erosión laminar en un cultivo de maíz.

Fotografía 7. Durante el proceso erosivo el agua arrastra la mejor parte del suelo, la materia orgánica y nutrientes minerales.

Fotografía 8. La erosión hídrica en surcos se produce cuando el agua de lluvia se desplaza sobre la superficie del suelo buscando las partes más bajas del relieve y constituye la segunda fase del proceso erosivo.

Fotografía 9. Los suelos arenosos excesivamente pulverizados por la labranza y sin cobertura de rastrojos, quedan expuestos a la erosión eólica e hídrica.

Fotografía 10. El encostramiento y sellado del suelo es un proceso degradatorio muy difundido en función de la pérdida de estructura de los suelos por el laboreo excesivo.

Fotografía 11. La formación de costras superficiales limita la emergencia de las plántulas, impidiéndola en suelos muy degradados.

Fotografía 12. Compactación subsuperficial del suelo en un piso de arado, causada por labranzas repetidas con arado de reja y vertedera.

Fotografía 13. El deterioro de la estructura superficial y subsuperficial del suelo, limita la infiltración del agua de lluvia, generando “encharcamiento” en lotes mal manejados.

Fotografía 14. El cultivo en contorno con terrazas de desagüe constituye una práctica adecuada para controlar la erosión, al acortar la longitud de la pendiente.

Fotografía 15. El adecuado manejo de los residuos de cosecha constituye una de las claves para prevenir la erosión y aumentar el contenido de materia orgánica del suelo.

Fotografía 16. El sistema de siembra directa mantiene una cobertura de rastrojos permanente sobre el suelo, protegiéndolo de los procesos erosivos y aumentando la captación y aprovechamiento del agua pluvial.

Fotografía 17. La siembra directa genera las condiciones adecuadas para incrementar el proceso de humificación de la materia orgánica, aumentando la cantidad de carbono secuestrado en el suelo.



Foto 1-El empleo de tractores más potentes y equipos de mayor ancho de labor permitieron la intensificación de las labranzas, ocasionando el desmejoramiento de la estructura y la compactación del suelo.



Foto 2- El laboreo continuo reduce el contenido de materia orgánica del suelo al aumentar la tasa de mineralización.



Foto 3- El rolo desterronador destruye los agregados del suelo, favoreciendo el posterior “planchado” y sellado de la superficie por efecto de las lluvias.



Foto 4- Suelo deficientemente estructurado con sellos y costras superficiales.



Foto 5- La erosión hídrica laminar constituye la primera fase del proceso erosivo, pudiendo ser imperceptible a la vista del productor agropecuario.



Foto 6- Erosión laminar en un cultivo de maíz.



Foto 7- Durante el proceso erosivo el agua arrastra la mejor parte del suelo, la materia orgánica y nutrientes minerales.



Foto 8- La erosión hídrica en surcos se produce cuando el agua de lluvia se desplaza sobre la superficie del suelo buscando las partes más bajas del relieve y constituye la segunda fase del proceso erosivo.



Foto 9- Los suelos arenosos excesivamente pulverizados por la labranza y sin cobertura de rastrojos, quedan expuestos a la erosión eólica e hídrica.



Foto 10- El encostramiento y sellado del suelo es un proceso degradatorio muy difundido en función de la pérdida de estructura de los suelos por el laboreo excesivo.



Foto 11- La formación de costras superficiales limita la emergencia de las plántulas, impidiéndola en suelos muy degradados.



Foto 12- Compactación subsuperficial del suelo en un piso de arado, causada por labranzas repetidas con arado de reja y vertedera.



Foto 13- El deterioro de la estructura superficial y subsuperficial del suelo, limita la infiltración del agua de lluvia, generando "encharcamiento" en lotes mal manejados.



Foto 14- El cultivo en contorno con terrazas de desagüe constituye una práctica adecuada para controlar la erosión, al acortar la longitud de la pendiente.



Foto 15- El adecuado manejo de los residuos de cosecha constituye una de las claves para prevenir la erosión y aumentar el contenido de materia orgánica del suelo.



Foto 16- El sistema de siembra directa mantiene una cobertura de rastrojos permanente sobre el suelo, protegiéndolo de los procesos erosivos y aumentando la captación y aprovechamiento del agua pluvial.



Foto 17- La siembra directa genera las condiciones adecuadas para incrementar el proceso de humificación de la materia orgánica, aumentando la cantidad de carbono sequestrado en el suelo.