

Efecto de las rotaciones Cultivos-Pasturas sobre la fertilidad de los suelos en ensayos de larga duración del INIA La Estanzuela (1963-2003)

Alejandro Morón

Sección Suelos-INIA La Estanzuela, C.C. 39173-Colonia, Uruguay

moron@inia.org.uy

Introducción

La agricultura de Uruguay, desde las etapas iniciales de desarrollo hasta fines de la década de 1950, se caracterizó por la siembra continua de cultivos (trigo, cebada, maíz, sorgo, girasol), con laboreos convencionales, sin técnicas para el control de erosión y sin agregado de fertilizantes. Esto condujo a balances negativos de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) en el suelo y el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. A partir de 1960, comienza a cobrar importancia la aplicación de fertilizantes (N, P) y posteriormente en la década de 1970 comienza la inclusión de pasturas (gramíneas y leguminosas) sembradas en rotación con los cultivos. Al principio de la década de 1980, comenzaron a implementarse distintas prácticas de conservación de suelos y se desarrollaron las primeras experiencias en siembra directa de cultivos. En los comienzos de 1990, la siembra directa cobra importancia a nivel de productores.

Actualmente, la rotación de cultivos y pasturas forman parte de los sistemas agrícolas-ganaderos y lecheros. En términos generales en los sistemas agrícolas-ganaderos, las pasturas de 3-4 años de duración rotan con agricultura por un periodo similar. En los sistemas lecheros, las pasturas tienden a permanecer 2-3 años rotando con verdeos anuales de verano e invierno para pastoreo directo o reservas forrajeras.

La Estación Experimental INIA La Estanzuela posee un experimento de Rotaciones de Cultivos y Pasturas que fue instalado en 1963, o sea que actualmente tiene 40 años, que ha producido información valiosa sobre la dinámica de C, N, P y distintos aspectos de la fertilidad del suelo. Esto fue reportado por: Díaz et al (1980), Díaz Roselló (1992a), Díaz Roselló (1992b), Morón y Kiehl (1992); García y Morón (1993), Baethgen et al (1994), Morón y Baethgen (1994), Morón y Baethgen (1995), Morón (1995), Morón, (1996); Carriquiry et al (1999), Morón (2000); Morón y Sawchik (2002). Este experimento fue pensado y diseñado por el Ing. L. Castro para contestar interrogantes que surgían de la realidad productiva de la década de 1960. No obstante, tiene marcados contrastes entre algunos tratamientos que aportan elementos que trascienden notoriamente las realidades que le dieron origen. Actualmente, existe un interés creciente en el mantenimiento y conservación de los recursos naturales y lo referente a los indicadores del impacto ambiental de las diferentes tecnologías agropecuarias (Doran y Parkin, 1994; Bezdicek et al., 1996; Cameron et al., 1998; Sánchez, 2002).

El objetivo del presente resumen expandido es presentar en las principales contribuciones obtenidas de este experimento en el área de fertilidad de suelos.

Materiales y Métodos

El suelo dominante en el área de estudio es un Brunosol Eutrítico típico (Argiudol Típico) de la unidad Ecilda Paullier-Las Brujas, con textura franco-arcillo-limosa y con una pendiente suave a moderada de aproximadamente 2 a 4%. Este sitio tenía previamente a la instalación del ensayo, 50-60 años de agricultura convencional (no permanente). El experimento tiene 7 tratamientos (sistemas de rotación de cultivos y pasturas) en bloques al azar con tres repeticiones. Todos los cultivos y pasturas fueron realizados con laboreo convencional en parcelas de 25 m por 200 m. Los sistemas considerados en este trabajo son: Sistema 1 (S 1), agricultura continua (Cebada - Girasol 2^a - Trigo - Sorgo) sin fertilizantes; Sistema 2 (S 2), agricultura continua (secuencia idéntica a S 1) con fertilizantes N y P; Sistema 5 (S 5), agricultura en rotación con pasturas de leguminosas y gramínea con 50 % del tiempo bajo cultivos y 50 % del tiempo con pasturas; y por último el Sistema 7 (S 7) de agricultura en rotación con trébol rojo con 33% del tiempo con pasturas y el resto con cultivos. Las pasturas del S 5 y el S 7 no tienen pastoreo animal, después de evaluadas son cortadas y devueltas al suelo. Todas las muestras de suelo fueron tomadas a aproximadamente 15-20 cm de profundidad

excepto cuando se indique lo contrario. Una descripción completa de la metodología utilizada se encuentra en los trabajos citados en cada caso.

En forma sintética, la determinación del C orgánico del suelo fue realizada con dicromato de potasio y calor externo; el N total fue determinado mediante digestión sulfúrica, destilación con micro Kjeldahl y titulación y la capacidad de mineralización de nitrógeno de los suelos fue medida por incubación aeróbica (Morón, 1995) y aneróbica (Morón y Sawchik, 2002).

Resultados y Discusión

1) Carbono

El conocimiento del impacto de las diferentes rotaciones en el ciclo del carbono (C) es de importancia tanto del punto de vista agronómico como del punto de vista ambiental. El contenido de C orgánico del suelo esta fuertemente asociado a las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. La relación del C orgánico del suelo con el CO₂ atmosférico vía fotosíntesis y mineralización lo vinculan con uno de los gases con “efecto invernadero”.

La Figura 1 presenta la evolución durante 40 años del contenido de C orgánico del suelo para cuatro rotaciones. Actualmente se observan diferencias de más del 1% en C orgánico entre los tratamientos extremos (S 1 y S 5). En una hectárea de suelo a 20 cm de profundidad una diferencia de 1% puede significar entre 20.000 y 25.000 kg de C. El balance fuertemente negativo del S 1 se explica básicamente por la erosión y un bajo ingreso de residuos orgánicos vegetales.

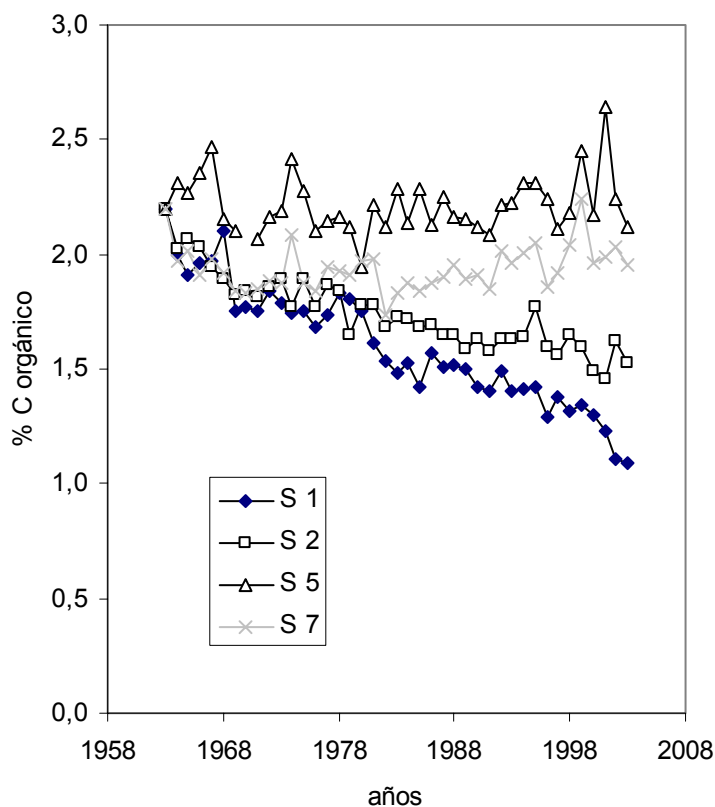


Figura 1. Evolución del contenido del carbono orgánico del suelo en diferentes rotaciones en INIA La Estanzuela (1963-2003), Uruguay.

Resultados experimentales muestran que los suelos de las rotaciones de los S 5 y S 7 mineralizan más carbono orgánico que los suelos de los S 1 y S 2 tanto en invierno como en primavera (Morón

y Baethgen, 1994) teniendo un alto impacto la temperatura (Morón, 1995). Las rotaciones que incluyen pasturas en general mineralizan más C debido a que tienen mayor contenido de C orgánico y a su vez en la distribución interna del C en distintas formas presentan mayor cantidad absoluta y relativa de C en las fracciones orgánicas menos descompuestas y más susceptibles de ser mineralizadas (Morón y Sawchik, 2002).

2) Nitrógeno

El valor del N total, básicamente N orgánico, en el suelo es el resultado de un balance de entradas, fundamentalmente fertilización y fijación biológica de nitrógeno (FBN) y salidas como la erosión de la materia orgánica, el lavado de nitratos, la volatilización de amonio, la denitrificación y el retiro de productos vegetales y/o animales. La Figura 2 presenta la evolución del contenido de N total durante 40 años de las 4 rotaciones analizadas en este artículo. Las tendencias son semejantes a las observadas en el C presentadas en la figura 1. De igual forma podemos estimar, después de 40 años, que las diferencias acumuladas en una hectárea a 20 cm de profundidad son entre 1800 y 2250 kg N total entre el S 5 y el S 1. A partir de la evolución y los cambios cíclicos en el contenido de N total, Díaz (1992a) estimó para el S 5: a) las entradas de N vía FBN de las leguminosas en el orden de los 500 kg N / ha por ciclo de pasturas; y b) una entrada de 1 kg N vía FBN por cada 25 kg de materia seca de leguminosa producido en la parte aérea.

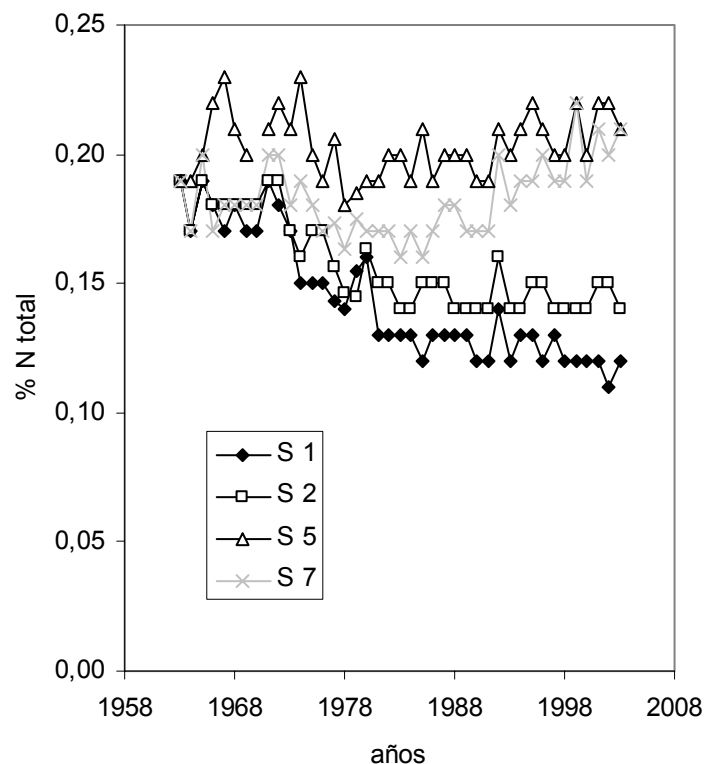


Figura 2. Evolución del contenido de nitrógeno total del suelo en diferentes rotaciones en INIA La Estanzuela (1963-2003), Uruguay.

La capacidad de mineralización de nitrógeno de los suelos de las rotaciones, medidos por incubación aeróbica (Morón, 1995) y aneróbica (Morón y Sawchik, 2002), es notoriamente superior en las rotaciones que incluyen pasturas, teniendo un fuerte impacto la temperatura (Morón, 1995). Los mayores valores de mineralización de los suelos de las rotaciones con pasturas es explicado en parte por los mayores valores de N total presente; así como por la mayor cantidad de N presente en fracciones del N orgánico fácilmente mineralizables (Morón y Sawchik, 2002).

3) Fósforo

El estudio más detallado de la dinámica del fósforo en este experimento abarca el período de 1964 a 1989 (Morón y Kiehl, 1992; Morón, 1996) e incluyó los tratamientos S 1, S 2 y S 5. Las rotaciones S 2 y S 5 para el periodo en estudio recibieron en promedio aproximadamente 40 kg P₂O₅ /ha / año como superfosfato. La dinámica del P se vio fuertemente afectada por los distintos sistemas de rotación cultivo-pastura (Tabla 1). Los cambios anuales de las concentraciones del P total y sus distintas fracciones son el coeficiente angular de las ecuaciones de regresión lineal ajustadas para el período en cuestión.

Tabla 1. Cambios anuales en el balance de P total (0-40 cm) y en las concentraciones de P total y sus distintas fracciones (0-20 cm) en el Experimento de Rotaciones de INIA La Estanzuela (1964-1987), Uruguay.

Fracción	Rotación		
	S 1	S 2	S 5
Balance P total, kg/ P ₂ O ₅ /ha	- 25.6	- 0.8	+ 14.9
P total, µg P / g	- 2.25 ***	+ 1.56 ***	+ 2.83 ***
P orgánico, µg P / g	- 1.51 ***	- 1.41 ***	- 0.22 ns
P inorgánico total, µg P / g	- 0.53 ***	+ 2.97 ***	+ 3.04 ***
P-Aluminio, µg P / g	- 0.42 ***	+ 0.37 ***	+ 0.37 ***
P-Hierro, µg P / g	- 0.43 ***	+ 0.74 ***	+ 0.57 ***
P-Calcio, µg P / g	- 0.14 ***	+ 0.44 ***	+ 0.25 ***
P-Ocluido, µg P / g	+ 0.16 ns	+ 1.42 ***	+ 1.85 ***
P-Bray 1, µg P / g	- 0.21 ***	+ 0.21 **	+ 0.28 ***
P-Resinas, µg P / g	- 0.37 ***	+ 0.13 ns	+ 0.10 ns

- * significativo 10 %, ** significativo 5 %, *** significativo 1 %
- ns = no significativo

En los tres tratamientos, el balance de P total del suelo reveló que la erosión fue la principal vía de pérdida. En el S 1, el balance fue claramente negativo; en el S 2 fue próximo al equilibrio y en el S 5 fue positivo. En el S 1 el P orgánico fue la fracción que presentó mayor disminución. Los resultados del S 2 revelan que la aplicación de P no detuvo esa disminución, mientras que en el S 5 la inclusión de pasturas permitió mantener el contenido de P orgánico.

En el S 1 el P inorgánico total (P-Al + P-Fe + P-Ca + P-ocluido) presentó una moderada disminución durante el periodo de estudio. Todos sus componentes disminuyeron excepto el P-ocluido que se mantuvo estable y por tanto aumentó porcentualmente su participación en el P inorgánico total. En el S 2, el P inorgánico total aumenta y todas sus fracciones evolucionan en el mismo sentido. El P ocluido es 48% del P inorgánico total. En el S 5 aumenta el P inorgánico total y todas sus fracciones quedando la fracción P-ocluido en torno de 61%. El P disponible (Bray I, Resinas) presenta una marcada disminución a través de los años en el S 1 y en el mismo período presenta valores superiores a 12 µg P / g en el S 2. Mientras que en el S 5, la mayoría de los años presentó valores inferiores al S 2. En un análisis conjunto de los distintos años y sistemas, la fracción P-Aluminio fue la que mejor se correlacionó con las medidas de P disponible (Bray I, Resinas). Para mantener una concentración de 0.1 µg P / ml en la solución del suelo, el S 1 (años 1986-87) requirió 48% más de P en la fase sólida que los otros dos sistemas. La rotación de cultivos con pasturas aumenta la cantidad de P presente en la biomasa microbiana (año 1989).

4) Acidificación

La utilización de fertilizantes nitrogenados amoniacales o que generan amonio, combinado con la utilización de leguminosas que principalmente obtienen su nitrógeno de la FBN pueden hacer disminuir el pH del suelo en el mediano y largo plazo. Morón y Pérez (1994) reportan diferencias significativas de pH en las rotaciones: S 1 > S 2 > S 5.

5) Cadmio

El cadmio (Cd) es un metal pesado con efectos tóxicos y acumulativos para los humanos. Una de las formas de contaminación con Cd en los suelos es vía fertilizantes fosfatados. Estos son portadores de Cd en concentraciones variables según el origen del yacimiento de P. Morón (2000) reporta el efecto de diferentes rotaciones cultivo-pastura en los niveles de Cd total y Cd disponibles en el suelo. Los niveles de Cd total y Cd disponibles encontrados en S 5 y S 2 fueron significativamente más elevados que en S 1. No obstante, todos los valores registrados, independientemente del tratamiento considerado, fueron bajos y lejanos de poder considerarse al Cd como un contaminante problema después de utilizar durante 36 años dosis moderadas de fertilizantes fosfatados.

6) Óxido Nitroso y Metano

El óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4), junto con el CO_2 , son gases que en parte son producidos por las diferentes actividades agropecuarias y que a su vez tienen relación con el denominado "efecto invernadero" de la atmósfera. Determinados microorganismos del suelo en condiciones de reducción (excesos hídricos), para realizar su metabolismo energético en ausencia de oxígeno (O_2), pueden utilizar otros aceptores finales de electrones diferentes del O_2 y producir N_2O y CH_4 . Es notable la diferencia en la intensidad y velocidad de reducción del suelo, medido por el potencial redox (Eh), que existe entre el S 1 y el S 5 (Morón, información no publicada). El Eh fue determinado por electrodo combinado de platino y plata/cloruro de plata. El S 5 (fase pastura) en ausencia de O_2 , puede rápidamente disminuir los valores de Eh hasta los cuales se produce N_2O . La diferencia se explica fundamentalmente por la mayor cantidad y calidad de la materia orgánica presente en el S 5, lo cual le otorga un alto poder reductor. En la agricultura de secano y en nuestras condiciones de suelos y clima, ninguna de las dos rotaciones utilizadas podría alcanzar ni la intensidad ni la velocidad de reducción para obtener valores de Eh suficientemente bajos para producir CH_4 .

7) Indicadores de Calidad del Suelo

Internacionalmente existe un interés creciente en los problemas ambientales. Seriamente, se presume que la comercialización de determinados productos en un futuro mediano estará condicionada a la existencia de controles o certificaciones ambientales del o los procesos productivos en cuestión.

El conocimiento de la evolución de la calidad del suelo con determinadas prácticas agrícolas es necesario para planificar un uso y manejo sustentable del recurso suelo. El o los indicadores a utilizar deben tener sensibilidad para detectar cambios, capacidad de integrar objetivos, facilidad de medir e interpretar y ser accesible a muchos usuarios.

En el Experimento de Rotaciones de INIA La Estanzuela, se reportaron avances en la selección de nuevos indicadores que directa e indirectamente están relacionados con la materia orgánica del suelo y sus dos componentes principales C y N (Morón y Sawchik, 2002). Los nuevos indicadores evaluados fueron: a) potencial de mineralización de nitrógeno (PMN) por incubación anaeróbica; b) C-POM 212-2000: carbono en la materia orgánica particulada (POM) entre 212 y 2000 micras; c) C-POM 53-212: carbono en la POM entre 53 y 212 micras; d) N-POM 212-2000: nitrógeno en la POM entre 212 y 2000 micras; y e) N-POM 53-212: nitrógeno en la POM entre 53 y 212 micras. Dentro de los nuevos indicadores evaluados, se destacaron por su mayor sensibilidad frente a indicadores tradicionales (C orgánico, N total) para detectar los diferentes efectos del uso y manejo del suelo, los siguientes: PMN, C-POM 212-2000 y N-POM 212-2000. Esto fue detectado especialmente para la profundidad 0-7.5 cm (Figura 3).

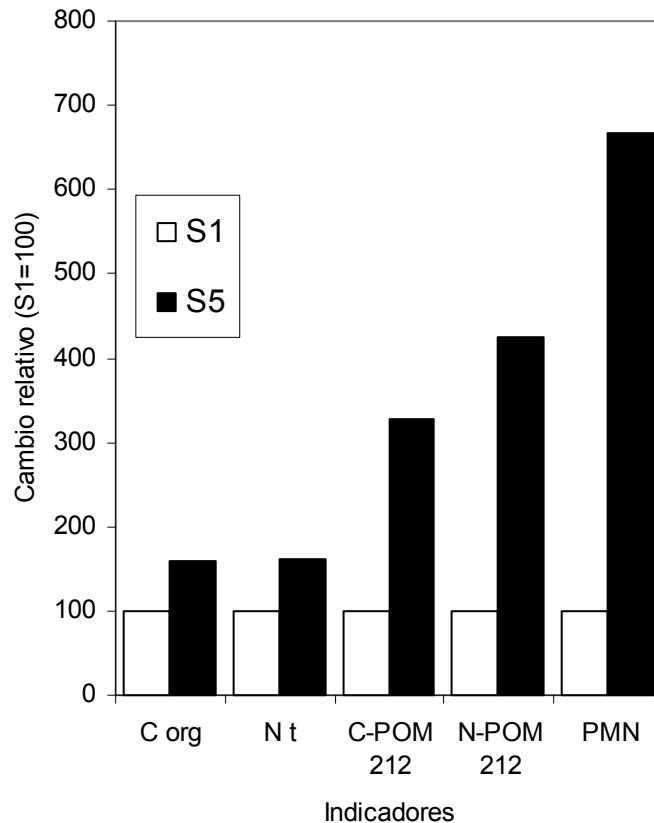


Figura 3. Sensibilidad relativa de diferentes indicadores de uso y manejo de suelos de 0-7.5 cm en dos rotaciones de INIA La Estancuela, Uruguay.

También fueron logrados buenos resultados, pero no de mayor sensibilidad que los mencionados anteriormente, con la determinación del grupo de enzimas deshidrogenasas y del HWC (*hot water extractable carbon*) para las profundidades 0 – 7.5 cm en las cuatro rotaciones mencionadas anteriormente (Morón, no publicado). Las deshidrogenasas fueron determinadas según Dick et al., (1996) y el HWC según A. Ghani (com. per.).

Referencias bibliográficas

- Baethgen, W.E.; Morón, A. y Díaz Roselló, R.M. 1994. Modeling long-term soil organic carbon changes in six cropping systems of SW Uruguay. 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, México. V9: 300-302.
- Bezdicek, D.C.; Papendick, R.I. y Lal, R. 1996. Introduction: Importance of Soil Quality to Health and Sustainable Land Management. In: Doran, J.W. y Jones, A.J., ed. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication Number 49, p 1- 8.
- Cameron, K.; Beare, M.; McLaren, R. y Di, H. 1998. Selecting physical, chemical, and biological indicators of soil quality for degraded or polluted soils. In: Symposium n° 37. XVI World Congress of Soil Science. Montpellier, France. CD-ROM
- Carrquiry, M.; Morón, A. y Sawchik, J. 1999. Potencial de Mineralización de Nitrógeno de Suelos del Area Agrícola del Uruguay. In: Comisión V Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas. 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelos. Chile, Nov. 1999. CD-ROOM.
- Díaz Roselló, R.M. 1992a. Evolución del nitrógeno total en rotaciones con pasturas. In: Morón, A. y Baethgen, W. Eds. Simposio Sustentabilidad de las rotaciones cultivo-pasturas en el Cono Sur. Revista INIA de Investigaciones Agronómicas. 1: 27-35.

- Díaz Roselló, R.M. 1992b. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. In: Morón, A. y Baethgen, W. Eds. Simposio Sustentabilidad de las rotaciones cultivo-pasturas en el Cono Sur. Revista INIA de Investigaciones Agronómicas. 1: 103-110.
- Díaz, R.M.; García, F. y Bozzano, A. 1980. Dinámica de la disponibilidad de nitrógeno y las propiedades físicas del suelo en rotaciones de pasturas y cultivos. Miscelánea 24. Estación Experimental La Estanzuela. Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" p. 1-25.
- Dick, R.P.; Breakwell, D.P. y Turco, R.F. 1996. Soil Enzyme Activities and Biodiversity Measurements as Integrative Microbiological Indicators. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (Editors). Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication Number 49, Chapter 15. p. 247-271.
- Doran, J.W. y Parkin, T. B. 1994. Defining an assessing soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdieck, D.F.; Stewart, B.A. (Editors). 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Special Publication Number 35, Chapter 1. p. 3-21.
- García, A. y Morón, A. 1993. Studies on soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in three crop rotation systems. Proceedings of the XVII International Grassland Congress (New Zealand). p. 1443-1444.
- Morón, A. 1995. Carbon and nitrogen mineralization in four crop-pasture rotation. In: Ljunggren, H.; Faveluckes, G.; Dankert, M.A., organizers. SAREC Conference Swedish-Argentinian-Uruguayan Cooperation for Science and Technology 1986-1995. Buenos Aires. 5-7 Diciembre 1995.
- Morón, A. 1996. Retención de fósforo por el suelo en un molisol bajo tres sistemas de rotación con diferentes fertilizaciones. 1996. In: XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas p. 133-134. Santa Rosa, La Pampa. Argentina.
- Morón, A. 2000. Efecto de diferentes rotaciones en el nivel de cadmio total y disponible en el suelo. FERTBIO 2000 XXV Reunión Brasileira de Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas. Santa Maria-RS- Octubre 2000. CD-ROM.
- Morón, A. y Baethgen, W.E. 1994. Soil organic matter mineralization in four cropping systems. 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, México. V9: 298-299.
- Morón, A. y Baethgen, W.E. 1995. Decomposition and nutrient release from crop and pasture residues in contrasting agricultural production systems. In: Cadisch, G. y Killer, K., organizers. Transactions Driven by Nature. Plant litter quality and decomposition. Wye College, University of London. September 17-20 1995.
- Morón, A. y Kiehl, J.C. 1992. Dinámica del fósforo en tres sistemas agrícolas en el suroeste de Uruguay. In: Morón, A. y Baethgen, W. Eds. Simposio Sustentabilidad de las rotaciones cultivo-pasturas en el Cono Sur. Revista INIA de Investigaciones Agronómicas. 1: 61-84.
- Morón, A. y Pérez Gomar, E. 1994. La acidez del suelo y su corrección In: Manejo y Fertilidad de Suelos. INIA La Estanzuela Serie Técnica 42. p 37-40.
- Morón, A. y Sawchik, J. 2002. Soil quality indicators in a long- term crop-pasture rotation experiment in Uruguay. In: Symposium N° 32 Paper 1327. 17th World Congress of Soil Science, Thailand. CD.
- Sánchez. P.A. 2002. Soil science as a major player in world development. In: Plenary Session. Keynote Lecture. 17th World Congress of Soil Science, Thailand. CD.