



## INFORME ESPECIAL



Producción de trigo en dos sistemas contrastantes: agricultura continua (*izquierda*) y sistema con rotación cultivos - pasturas (*derecha*).

Foto: INIA

# ROTACIONES CULTIVOS PASTURAS INIA LA ESTANZUELA

## Aprendiendo del experimento más antiguo de Latinoamérica

Ing. Agr. MSc. PhD Andrés Quincke<sup>1 y 2</sup>

Ing. Agr. PhD Verónica Ciganda<sup>2</sup>

Ing. Agr. PhD Jorge Sawchik<sup>3</sup>

Ing. Agr. MSc Enrique Fernández<sup>4</sup>

DMV MSc Darío Hirigoyen<sup>5</sup>

Ing. Agr. MBA Diego Sotelo<sup>6</sup>

Ing. Agr. MSc Ernesto Restaino<sup>7</sup>

Ing. Agr. Joaquín Lapetina<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Programa de Investigación en Pasturas y Forrajes

<sup>2</sup>Programa de Investigación en Producción y Sustentabilidad Ambiental

<sup>3</sup>Programa de Investigación en Cultivos de Secano

<sup>4</sup>Unidad de Economía Aplicada

<sup>5</sup>Director de INIA La Estanzuela

<sup>6</sup>Director de Transferencia de Tecnología y Comunicación

<sup>7</sup>Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología

Siendo una referencia a nivel mundial en la temática de rotación cultivos - pasturas, el ensayo cuenta de 56 años de información acumulada y es una fuente esencial para responder a las preguntas del presente sobre los sistemas del futuro.

### INTRODUCCIÓN

Nacido en 1963 de la mano del Ing. Agr. José Lavalleja Castro, ha sido desde entonces una referencia para conocer la necesidad de “rotar” (alternar) cultivos y pasturas para mantener la productividad del recurso suelo. Nos referimos al “ensayo de rotaciones” como es conocido en la jerga académica o entre los productores y técnicos. Se encuentra instalado en INIA La Estanzuela (Colonia) y ha sido fundamental en el conocimiento de la dinámica del suelo en cuanto a propiedades químicas y físicas, según el uso del mismo.

Evalúa los efectos de siete secuencias de manejo (rotaciones) con diferente intensidad de uso del suelo y es uno de los más antiguos del mundo. Incluye siete sistemas contrastantes, bajo tres repeticiones, conformando 21 parcelas de 0,5 ha cada una. Estos siete sistemas representan un gradiente de intensificación agrícola para evaluar los efectos en el suelo, el desempeño de los cultivos, así como los impactos en el ambiente.

En un extremo de este gradiente ubicamos un sistema intensivo agrícola (que en el presente incluye los cultivos de trigo, cebada, maíz, sorgo y soja) y que se

ha manejado sin el agregado de fertilizantes. Con este sistema se busca representar y evaluar una agricultura no sustentable, que ocurrió hace varias décadas en nuestro país. En el otro extremo ubicamos a los sistemas que incluyen pasturas, por medio de las cuales se logra una notable conservación del suelo, e incluso una mejora a largo plazo si anteriormente el suelo sufrió degradación.

En cada una de estas “franjas” se cosecha, se miden rendimientos de cultivos y pasturas, se miden propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos, al igual que se estima la pérdida de suelos (erosión) y otras variables que hacen a la calidad del suelo y el ambiente. Por otro lado, se han llevado a cabo diferentes estudios sobre la dinámica de enfermedades y malezas bajo los diferentes tratamientos aplicados. El manejo de las pasturas no se realiza con pastoreo, sino con cortes mecánicos; es decir, no ingresan animales.

#### ANTECEDENTES

La década del 60, fue efervescente en la organización de la investigación agropecuaria en el Uruguay.

Se apostó a la generación de conocimiento desde la investigación, como uno de los motores de mejora de la productividad y el bienestar agropecuario. Se operó la regionalización agropecuaria en el país, integrándose en el caso de INIA, cuatro nuevas estaciones experimentales a la ya existente, La Estanzuela. Simultáneamente, el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca inició un programa de desarrollo de producción pecuaria, basado en la introducción y adaptación de pasturas cultivadas, básicamente leguminosas. Esto constituyó el marco para que el proyecto de manejo de suelos de La Estanzuela naciera y creciera con fuerza.

El Ing. Agr. J. L. Castro, trabajando en el área de suelos de La Estanzuela fue el ideólogo de este experimento, y junto a otros visionarios plasmaron estas rotaciones que constituyen actualmente un patrimonio no sólo institucional sino nacional en investigación agropecuaria. Este experimento marcó un hito en la forma de investigar, aportando herramientas para generar nuevas propuestas y cuya vigencia se ha mantenido a lo largo de



Figura 1 - Aspecto de dos parcelas consecutivas del ensayo.



Figura 2 - Ing. Agr. José L. Castro.

las décadas, anticipándose a la necesidad de desarrollar modelos sustentables de agricultura, frente a la agricultura degradante que campeaba en esos años iniciales.

Es el más longevo de Latinoamérica y ha trascendido contextos y gobiernos, aportando pautas para definir políticas de estado en investigación sobre sistemas de producción sostenibles. Ha constituido además una fuente de información en el recientemente aprobado Plan de uso y manejo de suelos, una de las decisiones en política agropecuaria más importantes de los últimos años.

#### SISTEMAS O ROTACIONES INCLUIDAS EN EL ENSAYO

Los siguientes cuadros (1 y 2) presentan las distintas “rotaciones” utilizadas en dos períodos: 1983-2008 y 2009 en adelante.

Estos cambios ocurren basados en la adecuación de los cultivos a los nuevos sistemas de laboreo y sus desafíos asociados (Siembra Directa) y la adecuación a la realidad productiva del país.

## Evolución del ensayo

El experimento fue objeto de ciertos ajustes de diseño, en virtud de los cambios ocurridos en la producción agrícola comercial del país. Estos cambios fueron implementados básicamente en los años 1974, 1983 y 2009, aunque los sistemas de uso del suelo, concebidos originalmente por el Ing. Agr. Castro, prácticamente no variaron en su esencia.

Inicialmente la secuencia básica de cultivos fue lino-trigo-girasol de primera, trigo-girasol de primera. Esta secuencia se repetiría continuamente en los sistemas de agricultura continua y, por ejemplo, en el sistema 5, se alternaba con una pastura de Trébol Blanco y Fesluca de cuatro años. Las tres repeticiones (o bloques) se manejaron inicialmente en forma "sincronizada". Por ejemplo, las tres repeticiones de los sistemas 1 y 2 (agricultura continua) tuvieron lino en 1963, trigo en 1964, etc.

En 1974 se estableció una nueva secuencia para incorporar el cultivo de sorgo granífero. Además, se procedió al desfase de los bloques, a efectos de poder mejorar el análisis estadístico de los datos, al permitir separar el "efecto año" del efecto "año de la secuencia".

En 1983 el lino fue sustituido por la cebada y además se comenzó con cultivos "de segunda", pasándose de una secuencia de cinco años a una de tres años de duración: sorgo de primera-cebada/girasol de segunda-trigo. Las praderas se sembrarían en forma consociada con trigo y durarían tres años. Por lo tanto, las rotaciones con praderas pasaron a tener una duración de seis años (en lugar de nueve). El sistema 4, que originalmente fue un sistema que rotaba con pasturas anuales, pasó a ser el sistema con la mayor proporción de

Los siete sistemas del ensayo representan un gradiente de intensificación agrícola para evaluar los efectos en el suelo, el desempeño de los cultivos, así como los impactos en el ambiente.

pasturas: cuatro años de pastura y dos de cultivos. Las rotaciones representadas en el cuadro 1 se corresponden al período desde 1983 hasta 2008.

Desde el 2009 se adoptó en forma generalizada el sistema de siembra directa. De todos modos, en las décadas anteriores hubo una gradual reducción en la intensidad de laboreo. También en el 2009 se comenzó con una nueva secuencia de cultivos para incluir el cultivo de maíz y el cultivo de soja. El sistema 6 (de agricultura continua) pasó a ser un sistema muy "sojizado", pero con cultivos de cobertura o trigo (Cuadro 2).

## VARIABLES RELEVADAS RUTINARIAMENTE

Para cada cultivo que se realiza, se registra el rendimiento y la cantidad de nutrientes que se extraen. En las muestras de suelo que se obtienen todos los años se realizan análisis químicos de carbono orgánico, pH, fósforo extraíble (por los métodos de Bray, ácido cítrico, y resinas catiónicas), potasio intercambiable y potencial de mineralización de nitrógeno. Además, existe un archivo de muestras, que permite aplicar nuevas técnicas analíticas y responder nuevas preguntas utilizando suelos de momentos particulares del desarrollo del experimento.

**Cuadro 1** - Diseño de rotaciones utilizado desde 1983 a 2008

<b>1</b>	Sorgo 1 <sup>a</sup>	Cebada Girasol 2 <sup>a</sup>	Trigo	Sorgo 1 <sup>a</sup>	Cebada Girasol 2 <sup>a</sup>	Trigo	Sin Fert.
<b>2</b>	Sorgo 1 <sup>a</sup>	Cebada Girasol 2 <sup>a</sup>	Trigo	Sorgo 1 <sup>a</sup>	Cebada Girasol 2 <sup>a</sup>	Trigo	Con Fert.
<b>3</b>	Sorgo 1 <sup>a</sup>	Cebada Girasol 2 <sup>a</sup>	Trigo c/Lotus	Lotus 2	Lotus 3	Lotus 4	Con Fert.
<b>4</b>	Cebada c/T. Rojo	T. Rojo 2	Trigo c/Pradera	PP 2	PP 3	PP 4	Con Fert.
<b>5</b>	Sorgo 1 <sup>a</sup>	Cebada Girasol 2 <sup>a</sup>	Trigo c/Pradera	PP 2	PP 3	PP 4	Con Fert.
<b>6</b>	Cebada Sorgo 2 <sup>a</sup>	Girasol 1 <sup>a</sup>	Trigo	Cebada Sorgo 2 <sup>a</sup>	Girasol 1 <sup>a</sup>	Trigo	Con Fert.
<b>7</b>	T. Rojo 2	Cebada Girasol 2 <sup>a</sup>	Trigo c/T. Rojo	T. Rojo 2	Cebada Girasol 2 <sup>a</sup>	Trigo c/T. Rojo	Con Fert.



Cuadro 2 - Diseño de nuevas rotaciones - 2009 a la fecha

1	Maíz 1 <sup>a</sup>	Cebada Sorgo 2 <sup>a</sup>	Trigo Soja 2 <sup>a</sup>	Maíz 1 <sup>a</sup>	Cebada Sorgo 2 <sup>a</sup>	Trigo Soja 2 <sup>a</sup>	Sin Fert.
2	Maíz 1 <sup>a</sup>	Cebada Sorgo 2 <sup>a</sup>	Trigo Soja 2 <sup>a</sup>	Maíz 1 <sup>a</sup>	Cebada Sorgo 2 <sup>a</sup>	Trigo Soja 2 <sup>a</sup>	+P +N
3	Maíz 1 <sup>a</sup>	Cebada Sorgo 2 <sup>a</sup>	Trigo Soja 2 <sup>a</sup>	Lotus 1	Lotus 2	Lotus 3	+P +N
4	Maíz 1 <sup>a</sup>	T. Rojo 1	Sorgo 1 <sup>a</sup>	PP 1	PP 2	PP 3	+P +N
5	Maíz 1 <sup>a</sup>	Cebada Sorgo 2 <sup>a</sup>	Trigo Soja 2 <sup>a</sup>	PP 1	PP 2	PP 3	+P +N
6	Avena cob. Soja 1 <sup>a</sup>	Avena cob. Soja 1 <sup>a</sup>	Trigo Soja 2 <sup>a</sup>	Avena cob. Soja 1 <sup>a</sup>	Avena cob. Soja 1 <sup>a</sup>	Trigo Soja 2 <sup>a</sup>	+P +N
7	T. Rojo 1	Sorgo 1 <sup>a</sup>	Trigo Soja 2 <sup>a</sup>	T. Rojo 1	Sorgo 1 <sup>a</sup>	Trigo Soja 2 <sup>a</sup>	+P +N

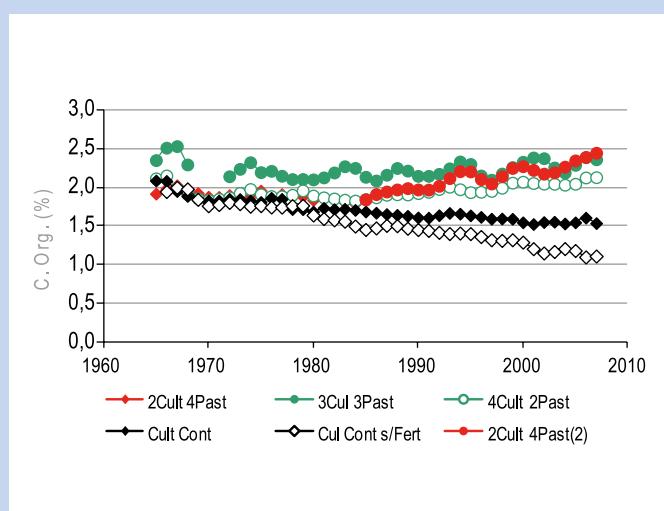


Gráfico 1 - Evolución de Carbono Orgánico en suelo.

### **Evolución de uno de los principales indicadores de la calidad del recurso suelo: Carbono Orgánico**

De la observación cuidadosa de la siguiente gráfica surgen los siguientes puntos más destacables:

1 - Ambos sistemas de agricultura continua produjeron un gradual pero continuo descenso en el contenido de Carbono Orgánico del suelo. La práctica de no fertilizar los cultivos produce una pérdida mayor aún, lo cual se explica principalmente por la menor entrada de C que se verifica con los menores rendimientos del sistema 1.

2 - También es interesante constatar que las diferencias entre estos dos sistemas de agricultura continua no se hicieron "visibles" hasta el inicio de los años 80, es decir casi 20 años luego del inicio del estudio.

3 - Los sistemas de rotación con pasturas presentan un "equilibrio dinámico", más evidente luego de los años 80. Esto significa una degradación o pérdida de carbono durante la fase de cultivos y una recuperación o ganancia de carbono en la fase de pasturas.

4 - El sistema de mayor proporción de pasturas (sistema 4) se inició en el año 1984, precedido por un sistema donde las pasturas eran anuales solamente. Este cambio de manejo resultó en un claro aumento en el Carbono Orgánico, logrando superar el nivel observado al inicio del experimento.

5 - Por lo tanto, en términos generales, las pasturas permiten mantener o incluso subir el nivel de Carbono Orgánico del suelo. De todas formas, aún en el mejor sistema, no se logró superar el nivel original de Carbono Orgánico que tendría el suelo en su condición virgen (estimado en aprox. 3,0%).

### **Monitoreo Ambiental**

#### **Dinámica del nitrógeno en los sistemas: evaluación de la lixiviación de nitratos del suelo y de las emisiones de óxido nítrico**

En los últimos años este ensayo ha servido como material experimental para estudiar temas relacionados con el destino ambiental de los nutrientes lo que resalta el valor de mantener esta plataforma experimental.



Foto: INIA

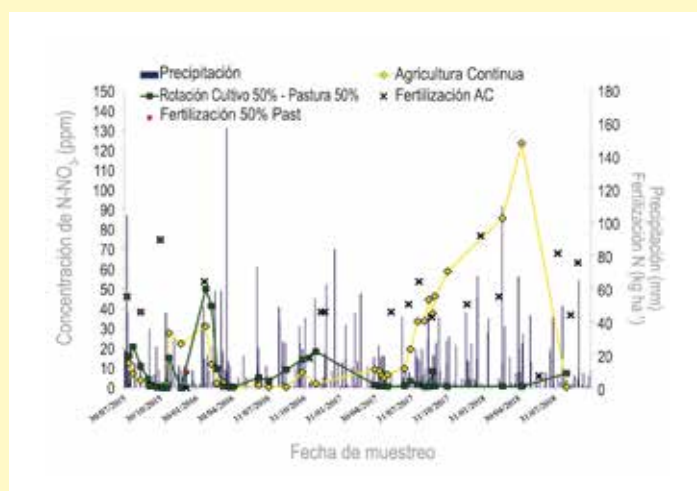
**Figura 3** - Copa porosa de succión instalada a 60 cm de profundidad para medir pérdida de nitrógeno del suelo.

El nitrógeno (N) mineral en la solución del suelo está predominantemente presente como nitrato ( $N-NO_3$ ), que se adsorbe escasamente al suelo y por lo tanto es más afectado por la lixiviación debido a la baja capacidad de intercambio de aniones del suelo. El sistema de cultivo, incluyendo labranza, cantidad de residuos, rotación y manejo de N, es el factor más determinante para las pérdidas de lixiviación (Follett y Hatfield, 2001).

Con el propósito de conocer el efecto de la pastura incluida en los sistemas de rotación, en los últimos años se han llevado a cabo mediciones de las pérdidas de nitrógeno (medido como nitrato) del suelo utilizando la metodología de copas porosas de succión instaladas a 60 cm de profundidad (Figura 3), las cuales son tubos de PVC con terminación de material poroso y válvula para ejercer vacío.

Éstas fueron instaladas en el sistema 5, de 50% del tiempo bajo pastura (Festuca, Trébol Blanco y Lotus) en rotación con cultivos, y en el sistema 2 de agricultura continua con fertilización. Los resultados mostraron que las concentraciones de nitratos en el agua lixiviada fueron mínimas y significativamente menores en el sistema 5 respecto al sistema 2 (Gráfico 2).

Este resultado demuestra claramente el efecto positivo de las pasturas en la utilización de este nutriente,



**Gráfico 2** - Concentraciones promedio de nitratos ( $N-NO_3$ , en ppm), precipitación (mm por día) y cantidad de fertilizantes nitrogenados durante el periodo del ensayo en dos diferentes tratamientos (agricultura continua con fertilización y 50% Pastura: 3 años de pastura mixta en rotación con tres años de cultivos).

INIA ha comenzado a cuantificar el efecto de las pasturas en las rotaciones sobre las pérdidas de nitrógeno del suelo hacia la atmósfera en forma de óxido nítrico (gas de efecto invernadero).



impidiendo que el mismo llegue a contaminar capas de aguas subterráneas. Por el contrario, la colecta de nitratos en agua a 60 cm de profundidad nos indica que luego de precipitaciones ocurridas se produciría un lavado de este nutriente en profundidad.

En los últimos años, Uruguay ha asumido compromisos internacionales para disminuir la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero en sus sistemas de producción agropecuaria, adhiriéndose de esta manera a la lucha internacional contra el cambio climático. En este sentido, en INIA se ha considerado la importancia de conocer y cuantificar el efecto de la inclusión de pasturas en las rotaciones sobre las pérdidas de nitrógeno del suelo hacia la atmósfera en forma de óxido nitroso, un gas de efecto invernadero con un alto potencial de calentamiento de la temperatura de la tierra, que favorece al cambio climático. Para esto se han utilizado cámaras metálicas, que se componen de una base y una tapa (Figura 4), las que se han instalado en los sistemas de agricultura continua y de rotación cultivo-pastura del experimento.

Las cámaras permiten el monitoreo frecuente de los flujos de pérdida del gas óxido nitroso. Estos trabajos están permitiendo conocer e identificar los sistemas de rotación y el manejo agrícola que más contribuye a la mitigación de las emisiones del óxido nitroso.

#### **APORTES A LAS POLITICAS PÚBLICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS**

En la década de los 80, con la preocupación sobre la importancia del proceso de erosión en la degradación del suelo y su pérdida de productividad, un esfuerzo conjunto entre el MGAP, la Facultad de Agronomía (Udelar) e INIA permitió la instalación de parcelas experimentales para medir la pérdida de suelo por erosión. Así, las parcelas de escurrimiento superficial se instalaron en algunos puntos del país.

Un set de parcelas se instaló primero en el propio ensayo y luego en un sitio satélite dentro de La Estanzuela, utilizando tratamientos de uso y manejo de suelos tomados del ensayo de Rotaciones. Este experimento aún funciona y permitió coleccionar casi en forma ininterrumpida

datos sobre escurrimiento superficial y pérdida de suelo y nutrientes. Una vez más las rotaciones con pasturas mostraron menores pérdidas de suelo que los sistemas de agricultura continua.

En un avance posterior se calibró y validó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo como modelo empírico para determinar la tasa de erosión anual. El buen ajuste de los datos, y la intención de promover buenas prácticas de conservación de suelos permitió que el MGAP desarrollara la política pública relacionada con los Planes de Uso y Manejo de Suelos desde el año 2013. Esto representa hoy en día un orgullo para el Uruguay y un caso exitoso de integración entre la generación de conocimiento y la formulación de políticas públicas, en este caso, en conservación de suelos.



Figura 4 - Cámara metálica para medir las pérdidas de nitrógeno del suelo hacia la atmósfera en forma de óxido nitroso.

Foto: INIA

**Ing. Agr. Fernando García Préchac**  
Director General de Recursos Naturales del MGAP



*“Nuestro país es referente a nivel mundial en el concepto de rotación cultivo – pastura”.*

En este sentido, INIA ha sido el abanderado en el mantenimiento y proyección de este ensayo de largo plazo.

**Insumos para las políticas de suelos:** las parcelas de escurrimiento que están operativas en La Estanzuela forman parte del mismo concepto de conservación de suelos y han sido de gran colaboración para la calibración del modelo de erosión. Si bien no se encuentran dentro del ensayo por razones técnicas, fue el ensayo de “rotaciones viejas” el que permitió visualizar la posibilidad de generar un modelo de estimación de la erosión como elemento clave para manejar la política de suelo.

**El aporte de Uruguay en el tema:** nuestro país es referente a nivel mundial en el concepto de rotación cultivo – pastura, tanto a nivel científico tecnológico como en las políticas de gestión del recurso suelo. Nuestra originalidad es que trabajamos con un sistema diverso, que encuentra en la integración las claves para su sostenibilidad.

**El valor del ensayo:** la información que genera el ensayo es imprescindible para tener una base de datos que permita validar modelos y estudiar la evolución de diferentes variables.

La única forma de lograr este objetivo es mediante instituciones que disponen de las instalaciones y capacidades necesarias, apuntando a generar datos que servirán más adelante.



**Ing. Agr. Roberto Díaz**  
Ex Director de INIA La Estanzuela  
Ex Investigador en Manejo de Suelos

El experimento de rotaciones agrícola-ganaderas es un patrimonio de riquísima información sobre el impacto que tienen los sistemas de producción de agricultura continua o en rotación con pasturas sobre el suelo y su productividad. Su valor se acrecienta en estos tiempos en que toda la sociedad revaloriza la necesidad de sistemas sustentables de producción y en particular por la preocupación creciente por el recurso suelo en que se está basando la intensificación productiva. Los suelos de Uruguay presentan condiciones de muy frágil estabilidad productiva bajo



agricultura anual convencional debido al alto riesgo de erosión de sus suelos con; bajas tasas de infiltración, fuertes pendientes y lluvias de alta intensidad.

**Orígenes:** la lúcida visión del Ing. Agr. J.L. Castro inspira este experimento, al anticipar en la década del 60 la importancia de desarrollar sistemas de producción sustentables, frente a la generalizada degradación de los mejores suelos por la agricultura continua. Percibe la oportunidad de evaluar un manejo de suelos basado en la capacidad de restaurar la fertilidad de los suelos por las pasturas y su rotación con agricultura anual e instala el experimento de largo plazo.

En ese entonces, constituye una propuesta pionera para la región y determina que hoy sea el experimento de largo plazo más antiguo de América Latina. Sus contribuciones transformaron la forma de hacer la agricultura en Uruguay beneficiando a todos los sistemas que integraron la agricultura y la pecuaria. Por otra parte, generó información básica y de procesos que lo hacen un referente científico para el país, con reconocimiento internacional.

**Beneficios:** entre los productos tecnológicos del experimento se destaca la demostración de los beneficios económicos y ambientales de la sinergia del sistema mixto pasturas-cultivos. Asimismo, fue crucial en difundir la propuesta de las siembras asociadas de pasturas con cereales de invierno, que en definitiva constituyó el gatillo tecnológico que disparó la adopción del sistema mixto de producción a partir de la década de 1970.

La información científica permite entre otras cosas; a) comprender la dinámica de plagas, enfermedades y malezas en diferentes rotaciones, b) dimensionar adecuadamente el largo de la fase agrícola para capitalizar la residualidad de nitrógeno que dejaban las pasturas con leguminosas, c) definir secuencias con mejor uso productivo del suelo; d) verificar la capacidad de emitir y secuestrar el carbono orgánico del suelo.

En su conjunto estos conocimientos contribuyen sustancialmente en la formulación del marco jurídico y regulatorio de uso del suelo en el país.

*“Nuestros suelos presentan condiciones de muy frágil estabilidad productiva bajo agricultura anual convencional”.*

**Cambios en el contexto productivo:** la dinámica del agronegocio generó en la agricultura de secano un fuerte ciclo de adopción de la rotación que alcanza en los años 90 casi la totalidad del área agrícola. Esa adopción, junto a otras prácticas tecnológicas, permitió tasas de incremento de 3 a 4 % anual de la productividad de los cultivos de grano.



Figura 5 - Estudiantes toman muestras de suelo en el ensayo.

Foto: INIA

Luego de los años 90, con la adopción de la siembra directa, se expande el área agrícola y se reduce marcadamente el sistema mixto en la agricultura de secano. No obstante, agotada la fase de expansión, se hace evidente en la actualidad la degradación de carbono y la pérdida de productividad de esos sistemas. La información básica que ha generado esta actividad experimental será imprescindible para el rediseño de sistemas que incorporen pasturas a la medida de cada situación.

**La proyección de esta actividad experimental:** por último, la información de este experimento generó una base de datos de 56 años con la evolución de las características del suelo, el manejo empleado y los rendimientos obtenidos. Esa información analizada en forma integrada permitió cuantificar el efecto de las diversas variables sobre los rendimientos.

Es así que se pudo vincular con indicadores robustos el efecto de la pérdida de materia orgánica sobre los rendimientos de los principales cultivos. Por consiguiente, se podrá, mediante el empleo de modelos ya desarrollados, diagnosticar la productividad pérdida en un suelo por degradación, teniendo en cuenta su condición actual y no solamente en indicadores como el CONEAT, que consideran la situación casi indisturbada de cada unidad de suelos.



El desarrollo actual de esas herramientas permitirá que los tomadores de decisiones, públicos y privados, puedan integrar a los cálculos económicos el valor de pérdida o ganancia de productividad si gana o pierde materia orgánica.

En un escenario de tantos cambios ambientales, económicos y estructurales, cobran importancia creciente los estudios mediante simulación con modelos. Nos hemos familiarizado en los últimos tiempos con modelos que estiman: las pérdidas de suelo por erosión, la dinámica del carbono, la productividad de cultivos en función de variables ambientales, escenarios climáticos y su variabilidad, etc. El empleo de esos modelos permite luego realizar experimentación "virtual" en condiciones edáficas y/o climáticas diferentes a las del propio experimento. Estos experimentos de largo plazo generan indicadores valiosísimos para los modelos y validan los resultados de esas aplicaciones.

La sostenibilidad productiva y ambiental requiere investigación sostenida en el tiempo para comprender los cambios acumulativos y tendencias producidas por los sistemas productivos empleados. Debemos congratularnos de la fuerte institucionalidad de la investigación agrícola nacional que garantiza este ejemplar proceso.



Foto: INIA

**Figura 6** - Visitantes observan la cartelería al acceder al ensayo.

## SIMPOSIO DE LOS 40 AÑOS DE ROTACIONES

En el año 2003, INIA llevó a cabo un simposio que celebraba los 40 años del ensayo, con el objetivo de realizar un análisis de los primeros 40 años de datos. Los resultados de este exitoso simposio se encuentran publicados en la Serie Técnica 134 de INIA, disponible en la web.

Nos gustaría revivir la parte final de la introducción de dicha publicación, escrita por el Ing. Agr. Roberto Díaz Rosello, uno de los profesionales que ha sido responsable de esta valiosa joya y que supo valorizar la información del ensayo, así como transmitir la importancia del mismo, aun en momentos donde no se visualizaba su posible aporte.

Ya en 2003, el Ing. Agr. Díaz Rosello cerraba esa introducción con una visión de futuro que aún hoy dispone de total vigencia conceptual:

*"LO QUE VENDRÁ. Seguramente seguiremos asistiendo a ajustes y cambios en los siete sistemas de manejo del suelo que conforman el experimento. En el pasado siempre han ocurrido con cierto rezago con relación a los cambios tecnológicos de la realidad productiva. Es razonable, porque hay que estar muy seguros del éxito de lo que se introduce. El objetivo de este experimento no es el de validar nuevas tecnologías. De eso debe ocuparse otro tipo de experimentos. La discusión y decisiones sobre la introducción total de la siembra directa en el manejo de suelos de este clásico experimento aún no ha terminado. Será lo más inmediato, pero seguramente continuará con otras alternativas técnicas. Lo que ciertamente se seguirá desarrollando es la com-*

*presión de muchas más variables biológicas que explicarán y alertarán sobre el impacto ambiental de largo plazo que tendrán todas las nuevas innovaciones de manejo de los suelos y cultivos que la ciencia propone.*

*Solamente con investigación ambiental de largo plazo, la producción y el hombre tendrán largo plazo".*

## VALOR DIDÁCTICO DEL ENSAYO DE ROTACIONES

Tal vez sea un valor intangible del ensayo de rotaciones, pero sin duda es un gran valor que tiene. Cabe señalar que INIA La Estanzuela dispone de un nivel de actividad, que concreta un entorno de 80 actividades al año, nucleando a más de 4500 personas en promedio

En términos generales, las pasturas permiten mantener o incluso subir el nivel de carbono orgánico del suelo. Aún así, no se ha logrado superar el nivel original de carbono orgánico que tendría el suelo en su condición virgen.

durante el transcurso de un año laboral. Un 40% de estas actividades refieren a visitas de tipo institucional o didácticas, entre las que se identifican escuelas, liceos, estudiantes en general, profesores, docentes, estudiantes de nivel terciario (técnico agropecuario, ingeniero agrónomo), así como posgrados.

Existen dos momentos en el año, otoño y primavera, donde la expresión de los cultivos muestra de manera clara el efecto de los distintos sistemas en la vida del suelo. Entonces, es sin lugar a duda impactante recorrer una parcela de trigo que no superará los 600 kg/ha de rendimiento (en el sistema 1, o sea de agricultura continua sin fertilización), expresando el deterioro acumulado que causó este sistema degradante. Al mismo tiempo, en las parcelas adyacentes se encontrarán trigos que, sembrados en igualdad de condiciones, pueden sobrepasar los 4000 kg/ha (sistemas 3-4-5-7). Esta expresión de diferencias en el cultivo de trigo como ejemplo, que logra multiplicar varias veces el rendimiento, es didácticamente muy valioso y potente.

## ANÁLISIS ECONÓMICO

### ¿Qué nos dicen los números desde las rotaciones?

Diversos estudios llevados a cabo a lo largo de estos años han puesto de relevancia aspectos fundamentales:

- Los avances tecnológicos incorporados sucesivamente a los sistemas de rotación (siembras de pasturas asociadas, introducción de cultivos de segunda, siembra directa, etc.) han determinado esquemas con una mayor intensidad en el uso del suelo, con una menor proporción del tiempo de la rotación con suelo descubierto o bajo laboreo, y una mayor producción de forraje por ciclo de pastura.

- Los sistemas que incluyen rotación con pasturas permanentes con leguminosas muestran niveles de rendimiento de cultivos no logrados en el resto de los sistemas únicamente con el agregado de fertilizantes. Los sistemas con pasturas presentaron además la ventaja de la incorporación de un rubro de producción adicional con un importante rol en el aporte a los ingresos y la diversificación. Estos sistemas resultaron a su vez, económicamente superiores y más estables en el largo plazo que otras alternativas.

- Los costos de laboreo resultaron el factor de mayor incidencia en los costos de producción, siendo más

Figura 7 - La observación de las diferencias de rendimiento de cultivo, explicadas por el manejo de las rotaciones, es de un valor didáctico muy potente.



Foto: INIA

elevados en los sistemas de agricultura continua y no compensados por los rendimientos logrados. Se verifica consistentemente una tendencia a incrementar dichos costos en relación con la “presión” que el sistema representa sobre el recurso suelo.

- La estabilidad de los indicadores económicos ha sido consistente con la sustentabilidad de los sistemas en términos físicos y de conservación de los recursos naturales.

Finalmente es importante destacar la importancia de estudios que analicen el resultado económico en el largo plazo de diferentes esquemas de rotación. Evaluando su elasticidad frente a las variaciones de precios y circunstancias climáticas, así como la evolución en términos de calidad y productividad de los recursos naturales involucrados.

La búsqueda de sistemas de producción y prácticas tecnológicas alternativas debe tener en cuenta que la conservación y el uso racional de los recursos naturales estará íntimamente ligado a la sustentabilidad y estabilidad económica de estos sistemas en el largo plazo, lo que a su vez estará condicionando su viabilidad a nivel de empresa agropecuaria.

Los sistemas que incluyen rotación con pasturas permanentes con leguminosas muestran niveles de rendimiento de cultivos no logrados en el resto de los sistemas únicamente con el agregado de fertilizantes.



**Ing. Agr. Alejandro Morón**

Ex Responsable del Laboratorio de Suelos de CIAAB e INIA

Ex Investigador Área de Suelos de INIA  
Actualmente Docente Universidad UDE



**¿Cuál es la razón por la que este experimento ha sido tan prolífico?**

Cuando el Ing. Agr. J.L. Castro lo pensó en 1963 logró que éste contuviera en sus tratamientos la realidad y

*“Con los años los datos fueron claros y las rotaciones de agricultura con pasturas emergieron como una alternativa exitosa”.*

problemas de la agricultura uruguaya de ese entonces y sus posibles alternativas para superar algunos de esos problemas. El problema central fue cómo mantener o incrementar la productividad de los cultivos sin deteriorar o mejorando la calidad del suelo. En el transcurso de los años los datos fueron claros y las rotaciones de agricultura con pasturas emergieron como una alternativa exitosa.

Además, debe mencionarse que los tratamientos tuvieron un contraste muy marcado que los años fueron acentuando y que convirtieron al experimento en un material de muy alto valor para estudiar diversos aspectos de la fertilidad del suelo y otros aspectos vinculados a otras áreas como patología vegetal, entomología, dinámica de malezas, etc.

El experimento mostró que, en Uruguay, como en muchas partes del mundo, un aspecto central de la calidad del suelo pasa o está en el carbono orgánico del suelo, principal constituyente de la materia orgánica. Éste se relaciona en forma positiva con propiedades físicas, químicas, biológicas y productivas del suelo. El conocimiento de la dinámica del carbono mereció esfuerzos que también fueron acompañados por el conocimiento de la dinámica de otros constituyentes de la materia orgánica, como nitrógeno y fósforo.

**Más allá de los resultados específicos, ¿qué nos deja de enseñanza este experimento?**

En definitiva, el experimento permitió entender mucho de los principales procesos involucrados. Esto permite hacer cierta generalización y/o extrapolación de los resultados. La investigación para que resuelva problemas, trascienda y sea prolífica, debe estar pensada y diseñada de tal forma que genere información que permita entender los procesos involucrados.



Foto: INIA

**Ing. Agr. Walter E. Baethgen**

Senior Research Scientist, Líder para América Latina y el Caribe, IRI Columbia University, New York

*“Con modelación podemos planificar estrategias de manejo que nos permitan incrementar el carbono del suelo”.*

### ¿Qué aspectos puede destacar de este ensayo como estrategia de largo plazo?

Los experimentos de largo plazo muchas veces son difíciles de conservar, porque con el paso del tiempo el propósito inicial empieza a perder sentido. Es necesario lograr un balance entre lo nuevo que se incorpora y lo que se conserva del planteo original. Lo que fue interesante en este caso, es que Lavalleja Castro formuló este ensayo con varios propósitos; se trataba de una época en que el productor utilizaba sus mejores campos para cultivo y el resto para ganadería, por lo que la rotación no existía.

La manera de descansar un suelo agrícola era mediante barbecho. De hecho, los mismos campos del experimento de largo plazo habían sido manejados de esa forma anteriormente. Con el paso del tiempo, el tema de rotaciones de cultivos con pasturas quedó incorporado y se avanzó en nuevos ajustes como la incorporación de otros cultivos, la siembra directa, etc. Todo esto se hizo con la flexibilidad necesaria, pero sin perder el rumbo original.

### ¿Cuáles son los contenidos más valiosos del ensayo?

Son distintos contenidos que se relacionan entre sí. Por un lado, los cambios en el carbono del suelo son muy difíciles de medir en parte porque son muy lentos. Cuando se cuenta con 60 años de mediciones, entonces estamos ante información muy robusta y este es un aspecto central.

La limitante para medir el carbono del suelo puede suplirse hoy en día con el uso de modelos, pero para que esos modelos sean confiables debemos ajustarlos y probarlos con buenos datos observados y eso es algo muy valioso que nos ofrece el ensayo. Hemos calibrado un modelo que nos permite estudiar el carbono y lo hemos validado prediciendo el comportamiento de otros sistemas que no formaron parte de la calibración.

De esta manera, podemos inferir para un determinado suelo en qué plazos podemos esperar mejoras a través de manejos específicos, como por ejemplo una determinada proporción de cultivos y pasturas a través del tiempo.

Otro aspecto importante es el tamaño de las parcelas del ensayo, que alcanzan la media hectárea y permiten trabajar con equipos similares a los que se usan en predios comerciales. Esto es importante para que los productores vinculen de mejor forma los resultados del ensayo con el manejo que hacen en sus predios. Al mismo tiempo, este tamaño de las parcelas ha permitido implementar experimentos dentro de las mismas, sobre temas como erosión, control de malezas y enfermedades, entre otros. De esta forma, el ensayo tiene enorme valor a nivel mundial y gran capacidad de contribuir a diferentes desafíos.

### ¿En qué aspectos se espera que el ensayo pueda contribuir en adelante?

Un gran tema al que se requiere dar respuesta son las emisiones de gases de efecto invernadero del sector agropecuario. En este sentido, existen medidas agronómicas con muy buena capacidad para remover carbono de la atmósfera (capturándolo en el suelo y ayudando a limpiar la atmósfera). En base a modelación podemos planificar estrategias de manejo que nos permitan proyectar un incremento de carbono del suelo al promocionar su secuestro.

Se trata de una potente herramienta para la toma de decisiones a diferentes niveles. El mundo debe avanzar en estímulos que favorezcan a la producción incorporando estos criterios que incorporan un valor agregado ambiental. De esta manera, mientras producimos alimentos estamos contribuyendo con un servicio de mitigación del Cambio Climático. Necesitamos seguir profundizando esta línea de trabajo con una mirada amplia y colaborativa.



Foto: INIA  
Figura 8 - Visita de delegación china al ensayo



## DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES A FUTURO

Sin dudas este experimento nos ha permitido aprender y todavía hoy continuar aprendiendo sobre el comportamiento de variables muy relevantes que hacen a la construcción de un sistema de producción sustentable. INIA y otros actores del país como la Udelar poseen plataformas o experimentos de largo plazo que contienen diferentes preguntas de investigación relevantes para los diferentes sistemas de producción del país.

en los sistemas de producción es fundamental para un país agropecuario, pensando en nuestros habitantes y nuestros consumidores.

La idea de concentrar esfuerzos de entendimiento de procesos básicos y aplicados en estas plataformas es fundamental para integrar disciplinas cada vez más variadas, en el conocimiento profundo del impacto que tienen los sistemas de producción.

En particular, para el experimento de Rotaciones los cambios generados en las rotaciones agrícolas en los últimos años vuelven a mostrar la importancia de contar con información robusta sobre la inclusión de pasturas de diferente de duración y sus impactos en la productividad de los cultivos, la calidad del recurso suelo y los posibles efectos ambientales negativos que se pueden evitar o generar. Esto es, un material experimental generado hace 56 años dando soporte a información valiosa para los sistemas de hoy y mañana.



Foto: INIA

**Figura 9** - Imagen de dos parcelas consecutivas de la chacra 20 de la Unidad del Lago, donde en el año 2000 se instaló un sistema agrícola bajo riego para estudiar variables asociadas que complementan el ensayo de rotaciones.

En particular, en el caso de INIA se ha generado el concepto de Plataforma Agroambiental para referirse a la suma de todos los experimentos de largo plazo que posee la Institución, incluyendo obviamente el ensayo de Rotaciones.

Así, se analizan además rotaciones hortícolas (INIA Las Brujas), rotaciones de cultivos bajo riego (INIA La Estanzuela) rotaciones arroz-pasturas y ganadero agrícolas (INIA Treinta y Tres) y sistemas de manejo bajo pastizales naturales (INIA Tacuarembó e INIA Treinta y Tres), estas últimas en desarrollo. La institución ha decidido jerarquizar estas plataformas experimentales porque el entendimiento de variables productivas y ambientales



Foto: INIA

**Figura 10** - Perfiles de suelos de los diferentes sistemas exhibidos en INIA La Estanzuela. En el lugar se aprecia claramente la mayor profundidad en la exploración de raíces de los sistemas con mayor ocupación de pasturas.

Por supuesto, en estos años han surgido otros experimentos “satélites” que intentan responder preguntas específicas sobre la inclusión de diferentes prácticas de manejo, nutrición de cultivos, pero la vigencia de la información que brinda este experimento es incuestionable.

Así como el experimento ha sido la base para desarrollar y adaptar indicadores de calidad de suelo de diferente tipo (como ej. el potencial de mineralización de nitrógeno) aprovechando la variabilidad ya generada, es un excelente material para avanzar en los temas ambientales como la reducción de pérdidas de suelo por erosión, el conocimiento en profundidad de procesos químicos, físicos y biológicos, y la integración de la economía para poner números a la degradación de los suelos y su relación con la productividad de los cultivos. En definitiva, nuestro país requiere poner contenido y números al concepto de intensificación sostenible y esa información es vital para tomadores de decisiones públicos y privados.

El otro concepto importante es colocar en la vidriera del mundo científico este material experimental a través de



Foto: INIA

**Figura 11** - Recorrida junto a productores y técnicos integrantes del Consejo Asesor Regional de INIA La Estanzuela.

publicaciones e integración en redes con otros centros en el mundo. Así, es de destacar el intenso intercambio entre INIA y centros como Rothamsted Research en el Reino Unido, que posee los experimentos de largo plazo más antiguos del mundo. En ambos casos, pensando siempre en brindar conocimiento y oportunidades de mejora para los sistemas productivos del futuro.

## LA VISIÓN DESDE LA REGIONAL

**DMV MSc Darío Hirigoyen**

*Director de INIA La Estanzuela*

*“Es un orgullo dar a conocer el proceso de creación de plataformas agromedioambientales que figuran entre las primeras de Latinoamérica”.*



En la Estación Experimental de INIA “La Estanzuela”, tuvo lugar en el año 1963 la fundación de “un experimento de largo plazo”, que posiciona a la organización, y al país en la primera vidriera viva testimonial; con el propósito de dar respuesta, e interpretar las consecuencias que tienen las distintas prácticas agrícolas en el suelo, con una mirada medioambiental, productiva y económica.

Se originaba de la mano del Ing. L. Castro, la rotación agrícola que permitió seguir el impacto de la labranza y la rotación de los cultivos y cultivos-pasturas en el tiempo. Más recientemente, en el año 2000, en la chacra 20 de la unidad del lago, se instaló un sistema agrícola bajo riego que permite igualmente monitorear variables asociadas a esta forma de producción, hasta nuestros días.





Figura 12 - Los funcionarios de INIA hacen un aporte valioso al funcionamiento del ensayo.

Los actuales problemas de degradación del suelo y el compromiso de la producción de alimentos para consumo humano y animal no son nuevos; se reflejan ya en los Vedas o textos antiguos que datan de más de 5000 ac. Es sabido que las civilizaciones amenazaban su supervivencia por un uso inapropiado del recurso, llevando a compromisos como la extinción; tal es el caso de Sumeria en Mesopotamia, o La Maya o Inca en Meso y sur América.

El desafío de producir una agricultura sostenible debe en primer término para cualquier sociedad “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

Para ello, se construyen estas vidrieras ejemplarizantes, que son miradas con perspectivas multidisciplinarias, interinstitucionalmente e incluso hoy internacionalmente con aportes de muchos investigadores de distintos países y continentes. Estos espacios com-

plejos multidimensionales, demandan el estudio desde distintas disciplinas, conduciendo y generando conocimiento y la formulación de nuevas preguntas y desafíos.

La necesidad imperiosa de establecer experimentos de largo plazo que demuestren la sostenibilidad de los procesos; que al mismo tiempo exploren el rendimiento de los cultivos, y analice la condiciones óptimas de fertilidad del suelo, fue ya avizorada en el pasado, y hoy expandida en todas las estaciones experimentales de INIA, asociadas a los sistemas productivos prevalentes en sus territorios.

Responder preguntas referentes a los cambios infligidos por contaminantes inorgánicos y orgánicos en cultivos y muestras de suelo desafiados con aportes a lo largo del tiempo, son entre otras las cuestiones que se pueden estudiar. Es un orgullo como integrante de esta experimental dar a conocer y poder asistir al proceso de creación de plataformas agromedioambientales que figuran entre las primeras de Latinoamérica emulando, otros experimentos monitoreados, que han tenido lugar en el mundo en el siglo XIX, como Rothamsted y Woburn (UK), Askov (Dinamarca), Grignon (Francia), Bad Lauchstädt (Alemania), y Morrow plots and Sanborn Field (USA).

Todas estas plataformas, requirieron y requieren ser sostenidas y mantenidas por las distintas administraciones que se sucedieron, las que asumiendo el compromiso y valorando responsablemente su cuidado, las proyectan al futuro.

En nuestro país, la producción de estas plataformas y la investigación que en ellas sucede, contribuye a soportar políticas públicas en base a datos e información obtenida, tal como ha sido los planes de uso y manejo de suelos incorporados en 2008 a la ley 15.239.

La ciencia y la metodología de exploración sobre ellas montadas, proporcionan certezas y garantizan la información con la que los decisores políticos formulan y decretan leyes; para ganar en credibilidad con los mercados compradores de nuestros productos y fundamentalmente para nuestros usuarios (productores), objetivo principal de la oferta tecnología que el INIA genera con el fin de preservar y hacer un mejor uso del recurso natural.

Varios de los trabajos de investigación más recientes en este experimento han sido conducidos por la Ing. Agr. MSc Valentina Rubio, y las Dras. Kathrin Grahmann y Raquel Barro. El actual mantenimiento y la colecta de observaciones se han logrado gracias al compromiso y apoyo de personal de INIA: Emiliano Barolín, Eduardo “Lalo” Vergara, Gualberto Soulier, el equipo del Laboratorio de Suelos, Julieta Mariotta, el equipo de la Sección Operaciones, el equipo de la Sección Malherbología.