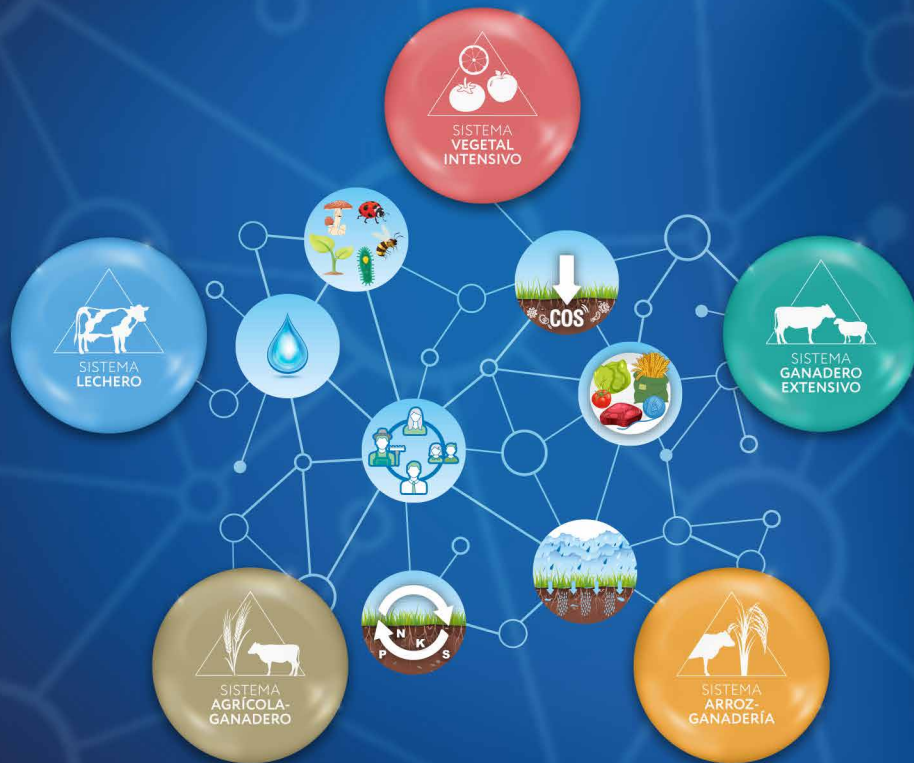


- ▶ Rotaciones agrícola-ganaderas “José Lavalleja Castro”
- ▶ Intensificación sostenible de sistemas ganadero-agrícolas
- ▶ Sistemas agrícolas regados
- ▶ Intensificación de sostenible de rotaciones arroceras
- ▶ Recuperación de la salud del suelo en sistemas hortícolas
- ▶ Sistemas extensivos de producción ovina sobre Campo Natural
- ▶ Sistemas de manejo del pastoreo en Campo Natural



PLATAFORMA AGROAMBIENTAL DE INIA: un espacio de investigación, formación y comunicación de los procesos e impactos de la producción agropecuaria

Equipo de la Plataforma Agroambiental de INIA

A través de un esfuerzo colaborativo del Instituto junto a diversos actores nacionales e internacionales, la Plataforma Agroambiental cuenta con siete experimentos de largo plazo que incluyen los principales sistemas productivos del país. Este abordaje permite desarrollar estrategias de investigación más eficientes y robustas para evaluar los procesos e impactos ambientales derivados de la actividad agropecuaria.

¿QUÉ ES?

La Plataforma Agroambiental de INIA fue implementada en 2018 con el fin de promover y articular los experimentos de largo plazo (ELP) existentes, promover la divulgación científica y gestionar los recursos disponibles para su funcionamiento. Está constituida por una red de investigadores y colaboradores que trabajan sobre 7 ELP distribuidos en cuatro estaciones experimentales de INIA. Los ELP de INIA se ubican en diferentes regiones agroecológicas del país cubriendo distintos sistemas productivos, desde sistemas más intensivos como los hortícolas, agrícolas en secano y bajo riego, y agrícola-ganaderos, a los más extensivos como los ganaderos pastoriles sobre campo natural (Figura 1). La Plataforma Agroambiental es un espacio privilegiado para la investigación, pero también para la formación de capital humano y el desarrollo de redes de innovación integradas por investigadores, asesores técnicos, productores y gestores de políticas públicas.

¿QUÉ SON LOS ELP?

Los ELP son experimentos pensados para perdurar en el tiempo (más de 30 años) y así dar respuesta a problemas actuales, pero también adelantarse a probables escenarios futuros y entender procesos o relaciones causa-efecto. Los experimentos de largo plazo son necesarios para evaluar los impactos de la variabilidad del clima y los efectos del manejo en la diversidad de especies, en la disponibilidad de recursos del suelo (ej. carbono en el suelo), en la calidad del agua y en la productividad. Para eso se contrastan sistemas de producción en los que se combinan diversos factores, como diferentes diseños espaciales y temporales (ej. rotaciones de diferentes cultivos o pasturas), y/o diferentes estrategias de manejo (ej. tipo de laboreo, uso de riego e intensidad de pastoreo). Los ELP tienen objetivos bien definidos pero flexibles, para poder adecuarse a nuevas hipótesis y desafíos; y deben presentar diseños experimentales robustos y parcelas experimentales que reflejen los sistemas de producción, para sostener en el tiempo las múltiples preguntas y permitir la continuidad en la colecta de datos y muestreos.

Es importante destacar la visión de aquellas personas que implementaron y mantuvieron estos ELP, que hoy siguen aportando valiosa información y contribuyen a responder nuevas preguntas. Mantener estos ELP con sus tratamientos originales a lo largo del tiempo es un gran desafío. Sin embargo, los ELP no son “museos” y en ciertas oportunidades un rediseño muy bien fundamentado y cuidadoso es necesario para acompañar la evolución de las prácticas agrícolas. A modo de ejemplo, en el LEELP1- Rotaciones agrícola-ganaderas “José Lavalleja Castro”, que se instaló en INIA La Estanzuela en 1963, además de pasar por varios cambios en las especies empleadas en la rotación, en el

año 2009, todas las parcelas experimentales comenzaron a ser manejadas con siembra directa después de muchos años de haber sido cultivadas con laboreo convencional, un cambio importante que en aquel momento era clave para el mantenimiento de los sistemas agrícolas intensivos en el país.

El diseño experimental de los ELP ha ido cambiando con el tiempo. Los experimentos más antiguos del mundo, anteriores a 1900, como Broadbalk en Rothamsted (Reino Unido), Grignon (Francia), y Morrow Plots en Illinois (Estados Unidos), carecen de un adecuado diseño experimental y su valor está en la permanencia en el tiempo. A mediados del siglo pasado los ELP incluyeron diseños experimentales considerando la separación de los efectos principales a evaluar y la aleatorización de los tratamientos, como el LEELP1- Rotaciones agrícola-ganaderas “José Lavalleja Castro”. Aún hoy los experimentos clásicos de parcelas aleatorizadas (ej. PaPELP2 - Sistemas extensivos de producción ovina sobre Campo Natural iniciado en 2021, LaBELP - Recuperación de la salud del suelo en sistemas hortícolas instalado en 2012) son indispensables para entender los procesos o relaciones causa-efecto que ocurren en determinados agroecosistemas. Sin embargo, han surgido nuevos abordajes experimentales de “comparación de sistemas” (rediseño en 2018 del PaPELP1 - Intensificación sostenible de sistemas ganadero-agrícolas) o “mini-predios” (ej. GELP-Sistemas de manejo del pastoreo en Campo Natural, instalado en 2023). En estos diseños de “mini-predios” la visión sistémica, integral e interdisciplinaria es clave, y la escala de trabajo permite estudiar mejor los procesos ecosistémicos existentes detrás de la producción agropecuaria.

¿POR QUÉ UNA PLATAFORMA AGROAMBIENTAL EN INIA?

Los ELP articulados en la Plataforma Agroambiental constituyen un patrimonio altamente valioso para la ciencia, el sector productivo y el gobierno como soporte a la definición de políticas públicas. Más allá de sus costos de instalación y funcionamiento, los ELP constituyen “laboratorios” vivos a cielo abierto que, cuando la información generada en ellos se utiliza de forma coordinada e integrada, constituyen una de las estrategias de investigación más eficientes y robustas para evaluar los procesos e impactos ambientales derivados de la actividad agropecuaria.

En la Plataforma Agroambiental desarrollan actividades diversos grupos de investigación de INIA, muchas veces en colaboración con otras instituciones nacionales y extranjeras, abarcando múltiples disciplinas y enfoques. Gracias a la visión de largo

plazo, a la interdisciplinariedad de los trabajos y a la armonización de protocolos analíticos consensuados y bien definidos entre los diferentes ELP, es posible avanzar en el conocimiento del impacto de los sistemas de producción con información científica robusta y sistemática, y contribuir al diseño de políticas públicas. Por ejemplo, a partir del análisis de la información generada en varios ELP junto a los trabajos realizados en parcelas de escurrimiento, se contribuyó al desarrollo del Plan de Uso y Manejo de Suelos del MGAP. Actualmente se están analizando los impactos de diferentes manejos sobre los stocks de carbono en el suelo y las emisiones de gases de efecto invernadero en diversos sistemas productivos, así como otras huellas ambientales.

En los últimos años se han fortalecido las capacidades y actividades de investigación sobre los ELP, constatado por el aumento de la colaboración y cooperación nacional e internacional, la producción

científica generada sobre los mismos y la formación de capital humano. Estas colaboraciones toman diversas formas, desde investigaciones disciplinarias para estudiar una relación causa-efecto, pasando por estudios que analizan más de un ELP simultáneamente, hasta la participación en redes en las cuales se colectan y analizan datos globalmente (por ejemplo, la Global Farm Platform -globalfarmplatform.org). Esto permite no solo dar respuestas locales, sino también entender procesos generales, especialmente aquellos vinculados a los que ocurren en el suelo, la emisión de gases de efecto invernadero o la estimación de huellas ambientales de los sistemas de producción de alimentos. Aquí el gran desafío es definir y mantener una política de gestión de datos clara desde la colecta y el almacenamiento, pasando por el procesamiento, publicación y reutilización de la información generada, hasta los criterios de intercambio y acceso a la misma.

La Plataforma Agroambiental es más que un espacio de investigación, es un espacio de formación y comunicación con diversos actores del sector académico, productivo y gubernamental. El desafío de la Plataforma Agroambiental es promover y sostener una cultura de investigación y articulación, que no solo dé respuestas a cada sistema productivo particular, sino que contribuya a entender los procesos biológicos y ambientales que definen la producción de alimentos y fibras (como la lana) de calidad a mediano y largo plazo, a nivel nacional e internacional. De esta forma, podremos contribuir a alcanzar algunos de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) definidos por las Naciones Unidas para el 2030: reducir el hambre y mejorar la soberanía alimentaria (ODS 2), promover modalidades de consumo y producción sostenible (ODS 12), reducir la emisión de GEI y mitigar los efectos del cambio climático (ODS 13), evitar la degradación del suelo y rehabilitar los degradados, y detener la pérdida de diversidad biológica (ODS 15).

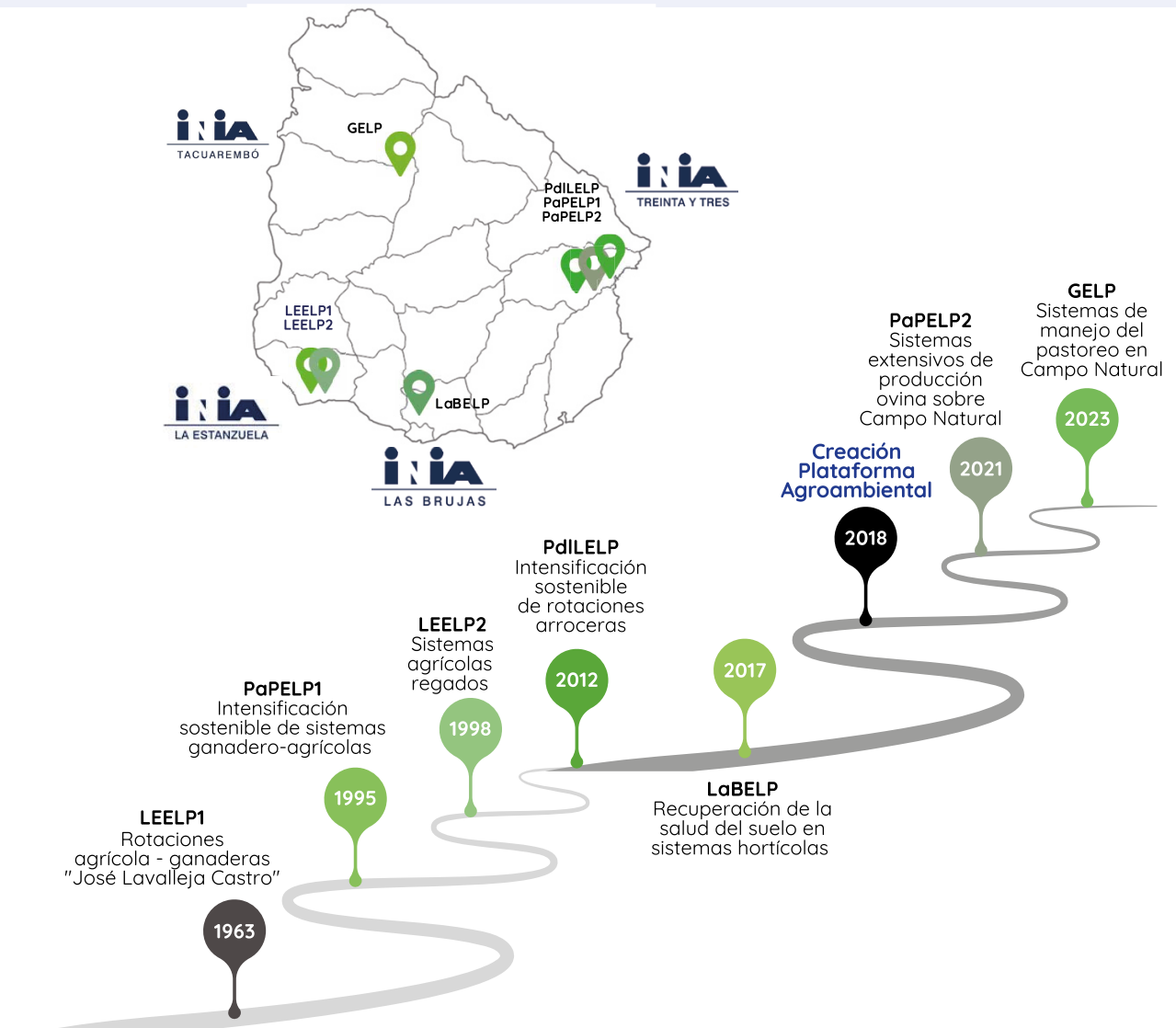


Figura 1 - Ubicación geográfica de los los experimentos de largo plazo y línea de tiempo de su creación.

LEELP1: Rotaciones agrícola-ganaderas “José Lavalleja Castro”

LEELP1 Rotaciones agrícola-ganaderas “José Lavalleja Castro”



Inicio: 1963
Área total: 10,5 ha.
Diseño: parcelas con repeticiones asincrónicas
Evaluación de 7 sistemas
de cultivo - pasturas en seco

Objetivo

- ▶ Evaluar la sostenibilidad de rotaciones y secuencias agrícolas en siembra directa, con y sin pasturas.

Diseño

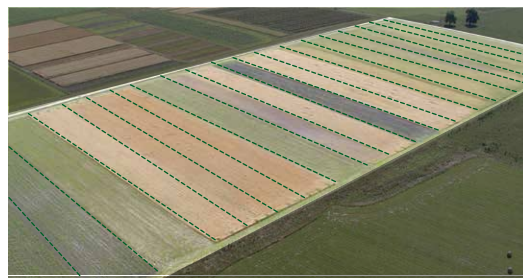
- ▶ Parcelas al azar de 0,5 ha con 3 repeticiones desfasadas en el tiempo.
- ▶ Todos los sistemas con “cero laboreo”.
- ▶ Manejo de pasturas: no hay pastoreo animal. Cortes con maquinaria y sin extracción de forraje.

Evaluaciones

- Propiedades del suelo**
- ▶ Químicas: Carbono orgánico, nutrientes, pH; stock de Carbono (hasta 80 cm; cada 6 años).
 - ▶ Físicas: resistencia a la penetración, estabilidad de agregados.
 - ▶ Biológicas.
 - ▶ Erosión.

- Cultivos**
- ▶ Rendimiento.
 - ▶ Extracción de nutrientes.

- Ambientales**
- ▶ Salud del suelo.
 - ▶ Dinámica, modelación y secuestro de Carbono.
 - ▶ Emisiones de Gases de Efecto Invernadero



	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	
1 Cultivo continuo ^{sin} fertilización	Maíz 1 ^a	Cebada Sorgo 2 ^a	Trigo 2 ^a Soja 2 ^a	Maíz 1 ^a	Cebada Sorgo 2 ^a	Trigo 2 ^a Soja 2 ^a	Sin Fert. +N
2 Cultivo continuo	Maíz 1 ^a	Cebada Sorgo 2 ^a	Trigo 2 ^a Soja 2 ^a	Maíz 1 ^a	Cebada Sorgo 2 ^a	Trigo 2 ^a Soja 2 ^a	+P +N
3 Rotación 50% pastura (c/ Lotus puro)	Maíz 1 ^a	Cebada Sorgo 2 ^a	Trigo 2 ^a Soja 2 ^a	Lotus 1 ^a	Lotus 2 ^a	Lotus 3 ^a	+P +N
4 Rotación 67% pastura	Maíz 1 ^a	T. Rojo 1 ^a	Sorgo 1 ^a	PP 1 ^a	PP 2 ^a	PP 3 ^a	+P +N
5 Rotación 50% pastura (c/ prod F+TBL)	Maíz 1 ^a	Cebada Sorgo 2 ^a	Trigo 2 ^a Soja 2 ^a	PP 1 ^a	PP 2 ^a	PP 3 ^a	+P +N
6 Cultivo continuo en base a soja	Avena cob. Soja 1 ^a	Avena cob. Soja 1 ^a	Trigo 2 ^a Soja 2 ^a	Avena cob. Soja 1 ^a	Avena cob. Soja 1 ^a	Trigo 2 ^a Soja 2 ^a	+P +N
7 Rotación 33% pastura	T. Rojo 1 ^a	Sorgo 1 ^a	Trigo 2 ^a Soja 2 ^a	T. Rojo 1 ^a	Sorgo 1 ^a	Trigo 2 ^a Soja 2 ^a	+P +N

PP = pradera de 3 años de Lotus, Festuca y Trébol blanco.

Plataforma Agroambiental
Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente

Estación Experimental
Alberto Boerger



Figura 2 - Ficha descriptiva del experimento.

El experimento LEELP1 “Rotaciones agrícola-ganaderas “José Lavalleja Castro”” está localizado en la Estación Experimental Alberto Boerger - INIA La Estanzuela, en el departamento de Colonia (34°20'34”S, 57°43'25”W; 70 m sobre nivel del mar). Fue instalado en el año 1963 por el Ing. Agr. José Lavalleja Castro. El área experimental es representativa de los suelos con mayor fertilidad natural sobre los que históricamente se desarrolló la producción agrícola-ganadera del país. El suelo dominante es un Brunosol Eútrico 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 %.

Dadas las condiciones edafoclimáticas de nuestro país, resultó de interés estudiar la rotación de cultivos y pasturas como principio básico para el manejo y conservación de suelos en sistemas agrícolas con laboreo convencional. Por ello, en 1963 el

experimento se inició con el objetivo de evaluar los efectos agronómicos del uso de rotaciones de cultivos y pasturas en comparación con rotaciones de cultivo continuo, cuando el cultivo continuo sin fertilización era la forma “tradicional” de producción. Con el tiempo, los conceptos de cambio climático, sostenibilidad y ambiente se han incorporado para entender los procesos productivos y, desde 2009, el objetivo es evaluar la sostenibilidad de rotaciones y secuencias agrícolas de cereales y oleaginosas en siembra directa, con y sin pasturas.

Acompañando los cambios que se dieron en la producción agrícola comercial del país, en los años 1974, 1983 y 2009 se realizaron ajustes al experimento, modificando los cultivos empleados y la composición y/o duración de las pasturas. En 1963 la secuencia de cultivos era lino-trigo-girasol-trigo-girasol que se repetía continuamente en los sistemas de agricultura



FotoS: INIA

Figura 3 - Muestreo de suelos en profundidad en el experimento.

continua y se alternaba con una pastura de 4 años de trébol blanco y festuca (sistema 50 % cultivo - 50 % pastura) o una pastura anual de raigrás y “praderas intercalares” de trébol rojo, cuya duración no excedía 12 meses (sistema 67 % cultivo - 33 % pastura). En 1974 se estableció una nueva secuencia agrícola con sorgo granífero-lino-trigo-girasol-trigo y además se procedió al desfasaje de los bloques, de forma que todas las fases estuviesen presentes simultáneamente. En 1983 el lino es sustituido por la cebada, se comienza con cultivos de verano “de segunda” y la secuencia de cultivos pasa a ser de tres años integrada por sorgo de primera-cebada-girasol de segunda-trigo.

El sistema 50 % cultivo incluía una pradera de trébol blanco, *Lotus corniculatus* y festuca, sembrados en forma consociada con el trigo. Finalmente, el sistema con 33 % cultivos se modificó a 4 años de pastura y 2 de cultivos (cebada-trébol rojo-trigo-pastura de 3 años de trébol blanco, lotus y festuca). Desde 2009 se adoptó la siembra directa en todo el experimento (sustituyendo el laboreo) y se inició una nueva secuencia de cultivos, incluyendo maíz, cebada, sorgo, trigo y girasol (hasta 2014) o soja (a partir de 2015) (Figura 2). Actualmente el experimento consiste en siete tratamientos o sistemas con distinta intensidad de uso del suelo, en un arreglo de bloques completos al azar con tres repeticiones desfasadas en el tiempo.

En estos primeros 60 años del experimento, varias generaciones de investigadores e instituciones

nacionales y extranjeras han desarrollado actividades en el mismo, generando valiosa información para entender los procesos que sostienen la actividad agrícola. Por ejemplo, la evolución del carbono orgánico del suelo (COS) en agricultura continua cayó de 2,2 % a 1,5 % cuando se emplearon fertilizantes y a 1 % en ausencia de ellos, con una dinámica semejante en los dos casos durante los primeros 15 años del experimento; mientras que las rotaciones con pasturas incrementaron el COS a 2,5 %. Estos datos de COS permitieron también validar y ajustar los modelos Century, Cycles y AMG a las condiciones de Uruguay. Recientemente, se constató que las rotaciones con pasturas preservan más el carbono antiguo (determinado mediante incubaciones y mediciones de radiocarbono), y presentan mayor almacenamiento de C y N en capas subsuperficiales del

Investigadores de distintas disciplinas e instituciones vienen construyendo conocimiento para hacer la producción agropecuaria más sustentable. También lo harán las generaciones futuras, innovando metodologías y respondiendo nuevas preguntas.

Desde el punto de vista de la función radicular, la calidad física del suelo resultó más limitante en los sistemas de agricultura continua frente a las rotaciones con pasturas.

suelo, aunque aún se están estudiando los mecanismos involucrados en estos procesos. Desde el punto de vista de la función radicular, la calidad física del suelo resultó más limitante en los sistemas de agricultura continua frente a las rotaciones con pasturas. En cuanto a la erosión del suelo, estudios con el isótopo Cesio 137, mostraron que la acumulación de suelo en zonas bajas del terreno puede ocurrir a tasas relativamente altas (mayores que 20 Mg/ha/año), y que las rotaciones con pasturas son efectivas en el control de la erosión. Finalmente, analizando la productividad de los cultivos, entre 2010 y 2023 los rendimientos de las rotaciones con pasturas fueron superiores a los de la agricultura continua con fertilización, con valores promedio de 170 %, 163 %, 119 % y 121 % para trigo, cebada, maíz y soja, respectivamente. En particular para trigo y cebada se pudo verificar la estrecha relación entre el rendimiento y el COS.



Foto: INIA

Figura 4 - Vista general del experimento de rotaciones en INIA La Estanzuela.

Actualmente, hay varias investigaciones en curso para estudiar otros aspectos y procesos que impactan en la sostenibilidad de nuestros sistemas de producción. Algunos de ellos son: determinación de emisiones de gases de efecto invernadero, caracterización de la variabilidad espacial y profunda de la estructura del suelo mediante técnicas geofísicas, estudio de la relación entre la erosión y el secuestro del carbono, exploración de mecanismos de defensa de las plantas frente a algunos insectos plaga, y caracterización del microbioma del suelo mediante herramientas metagenómicas.



Fotos: INIA

Figura 5 - Mediciones de gases de efecto invernadero.

PaPELP1: Intensificación sostenible de sistemas ganadero-agrícolas

PaPELP1 Intensificación sostenible de sistemas ganadero-agrícolas



Inicio: 1995
 Área: 150 ha
 Diseño: mini predios y secuencias de cultivos con repeticiones asincrónicas
Evaluación de 4 sistemas ganadero-agrícolas.

Objetivo

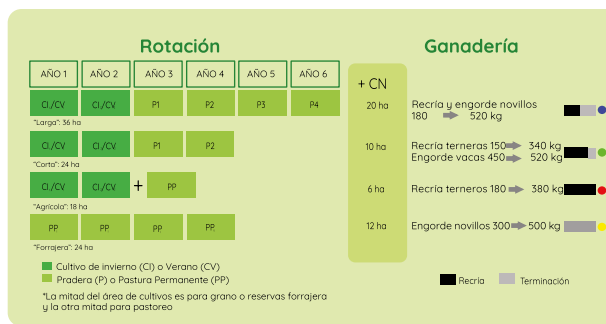
- ▶ Desarrollar estrategias sostenibles de diversificación e intensificación de uso del suelo.

Hipótesis

- ▶ Es posible la intensificación sostenible mediante la implementación de rotaciones pasturas-cultivos en siembra directa y el ajuste de la estrategia ganadera.

Diseño

- ▶ Sistemas cerrados e independientes (mini-predios).
- ▶ Uso estratégico del campo natural y suplementación animal.
- ▶ Todas las fases de las rotaciones presentes al mismo tiempo.



Evaluaciones

- ▶ Propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo.
- ▶ Productividad animal y vegetal.
- ▶ Impacto ambiental (ej: GEI).
- ▶ Resultado económico.



Plataforma Agroambiental
 Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente

Unidad Experimental
 Palo a Pique



Figura 6 - Ficha descriptiva del experimento.

El experimento PaPELP1 “Intensificación sostenible de sistemas ganadero-agrícolas” está localizado en la Unidad Experimental Palo a Pique de INIA Treinta y Tres (S33° 15’ 54”, W54° 29’28’, 57 metros sobre nivel del mar). Es el segundo experimento de largo plazo más antiguo de INIA y fue instalado en el año 1995 sobre un área de campo natural regenerado luego de una breve historia agrícola. El suelo es un Argisol subéutrico melánico (Argiudol Oxiáquico Vértico) de la Unidad Alférez, con drenaje interno imperfecto y riesgo de erosión moderado a alto debido a la topografía de lomadas.

Inserto en una región predominantemente ganadera extensiva, el PaPELP1 explora alternativas para mejorar los indicadores productivo-económicos y ambientales, mediante la intensificación y diversificación productiva del suelo de la región de Lomadas del Este. En particular, se plantean dos objetivos para el experimento: el

primero busca generar alternativas de intensificación del uso del suelo en sistemas ganadero-agrícolas mediante la combinación de la tecnología de siembra directa, la rotación cultivos-pasturas y la adecuación de la estrategia ganadera de recría y engorde; el segundo se plantea desarrollar y validar sistemas mixtos ganadero-agrícolas sustentables desde el punto de vista productivo y ambiental que permitan mejorar y diversificar los ingresos de los productores.

Uno de los desafíos de los experimentos de largo plazo es mantener su pertinencia con el paso del tiempo sin perder su esencia ni los efectos acumulados en el tiempo de los tratamientos y/o manejos. En los casi 30 años del experimento existieron dos modificaciones que ampliaron la hipótesis original dando lugar a nuevas preguntas de investigación que reflejaban cambios en los sistemas comerciales. Al inicio, en 1995, se contrastaron cuatro intensidades de uso del suelo bajo



Figura 7 - Vista aérea del experimento en la Unidad Experimental Palo a Pique.

pastoreo directo bovino: cultivo continuo (CC), una rotación corta pastura-cultivo (RC, 2 años pastura-2 años cultivo), una rotación larga (RL, 4 años pastura-2 años cultivo), y pastura sembrada permanente (PP). Cada fase de las rotaciones estaba representada por un potrero de 6 ha, con todas las fases presentes en forma simultánea, pero sin repeticiones sincrónicas. A mediados de la década del 2000 ya se había confirmado la hipótesis de que era posible una agricultura forrajera en las Lomadas del Este, pero la pregunta que surgió fue si era posible también una agricultura para grano asociada a la expansión del cultivo de soja en la región.

De esta manera, a partir del 2005, la fase de cultivos se subdivide en dos mitades de 3 ha cada una. Además de la secuencia de cultivos forrajeros que venía funcionando, en la mitad del área de cada potrero se establece una secuencia de cultivos destinada a la producción de grano (avena/sorgo-avena negra/soja-trigo consociado a pradera). Finalmente, en 2018, como reflejo de la tonificación y diversificación de los negocios ganaderos, se asignó a cada rotación (RL, RC, CC, PP) una estrategia ganadera de recría y engorde única complementada con un área de campo natural exclusiva. De esta manera, se generaron cuatro sistemas de producción totalmente cerrados e independientes entre sí, reflejando cuatro predios con distinta orientación productiva, pero manteniendo la base del diseño original del experimento de largo plazo y adecuando la secuencia de cultivos para grano a colza-sorgo-lupino-soja (Figura 6).

En estas tres primeras décadas del experimento, se destacan algunos impactos resultantes de la intensificación productiva, para las dimensiones ambiental y productivo-económica. Mediante la metodología de análisis de ciclo de vida, se determinó que una mayor proporción de pasturas en la rotación resulta en una menor emisión de kg de CO₂-equivalente/ha.

La integración de ganadería y agricultura con rotaciones de pasturas perennes en siembra directa permite la intensificación sostenible de los sistemas de producción sobre lomadas del este.

A su vez, el stock de carbono (0-30 cm de suelo) en CC fue 23 % inferior respecto al del campo natural, mientras que para las rotaciones que incluyen pasturas fue solo de 8-10 %. A pesar de la degradación de algunos indicadores del suelo, no se ha observado una disminución significativa de los rendimientos en los cultivos (avena: 1480 kg/ha; trigo: 2660 kg/ha; sorgo: 4770 kg/ha; soja: 2510 kg/ha), pero hay alertas frente al exceso hídrico en invierno y déficit en verano. Igualmente, la producción de carne de los sistemas fue de 300-400 kg/ha/año, tendiendo a ser más productivos y eficientes aquellos basados en estrategias ganaderas de recría (CC y RC).

Finalmente, no se identificó un sistema consistentemente superior desde el punto de vista económico (medido por el margen bruto), porque al tener la misma secuencia agrícola y similares rendimientos de cultivos, la variabilidad del resultado económico estuvo más asociada al precio implícito de las distintas estrategias ganaderas.

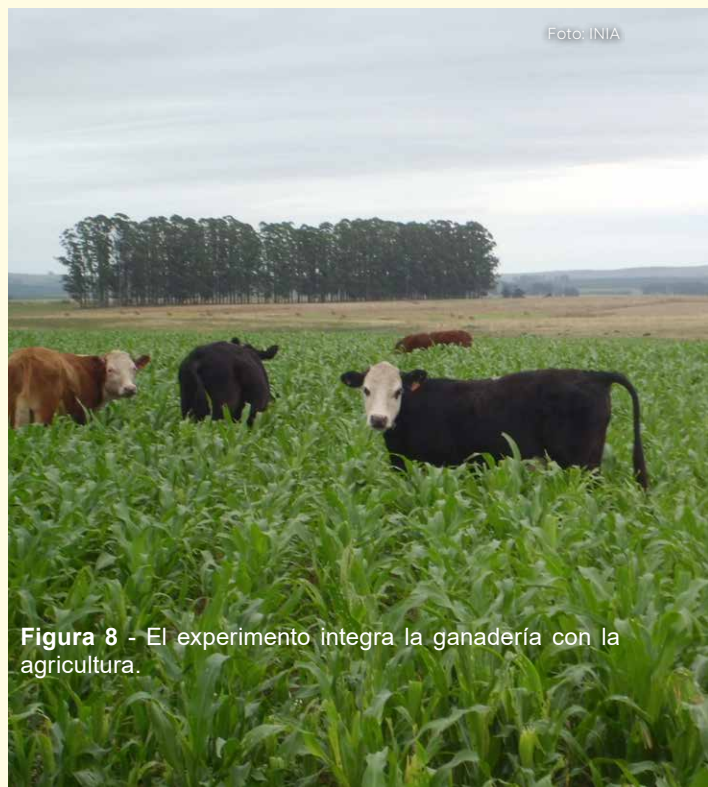


Foto: INIA

Figura 8 - El experimento integra la ganadería con la agricultura.

LEELP2: Sistemas agrícolas regados

LEELP2 Sistemas agrícolas regados



Inicio: 1998
 Área total: 10 ha
 Diseño: parcelas con repeticiones asincrónicas
 Evaluación de 2 sistemas agrícolas regados
 y 1 de secano

Objetivos

- ▶ Estudiar la sostenibilidad de una secuencia agrícola, con y sin pasturas, y uso estratégico del riego.
- ▶ Crear un espacio de investigación multidisciplinario sobre el impacto del riego en sistemas agrícolas.

Hipótesis

- ▶ El riego en rotaciones agrícolas aumenta la productividad física y económica del sistema.
- ▶ La sostenibilidad a largo plazo se ve afectada por el nivel de intensificación de los sistemas agrícolas.

Diseño

- ▶ Parcelas al azar (1 ha) repetidas en el tiempo.
- ▶ Todas las fases de la rotación presentes al mismo tiempo.

Manejos

- ▶ 3 sistemas: rotación agrícola-ganadera (6 años), rotación agrícola (3 años) y cultivo continuo de soja.
- ▶ Siembra directa.
- ▶ Praderas sin pastoreo, corte para reservas forrajeras.
- ▶ Riego estratégico.

Evaluaciones

Propiedades del suelo

- ▶ Químicas: Carbono orgánico, nutrientes, pH, stock de carbono (hasta 1 m, cada 6 años).
- ▶ Físicas: resistencia a la penetración.

Cultivos y Praderas

- ▶ Rendimiento de grano.
- ▶ Biomasa.
- ▶ Extracción de nutrientes.

Ambientales

- ▶ Volumen de agua aplicado.
- ▶ Eficiencia del uso de agua y nutrientes.
- ▶ Intensidad de uso de agroquímicos.

Sistema	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Rotación agrícola - ganadera	Trigo / Soja 2da	Cultivo cobertura / Maíz	Cultivo cobertura / Soja Tera	Pradera 1	Pradera 2	Pradera 3
Rotación agrícola	Trigo / Soja 2da	Cultivo cobertura / Maíz	Cultivo cobertura / Soja Tera			
Soja continua en secano	Cultivo cobertura / Soja Tera					



Plataforma Agroambiental
 Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente

Estación Experimental
 Alberto Boerger



Figura 9 - Ficha descriptiva del experimento.

El experimento LEELP2 “Rotaciones agrícolas regadas” se inició en 1998. Está localizado en la Unidad del Lago de la Estación Experimental Dr. Alberto Boerger (Regional INIA La Estanzuela), en el departamento de Colonia (34°20'42.08"S, 57°42'41.91"W, 65 m sobre nivel del mar). El suelo es un Brunosol Éutrico Típico (Argudol Típico) de la unidad Ecilda Paullier-Las Brujas, con textura limo-arcillosa, y el área presenta una pendiente suave a moderada de aproximadamente 2 a 3 %.

Su objetivo inicial fue desarrollar tecnologías de producción y evaluar la sostenibilidad de una secuencia agrícola mejorada, con y sin pasturas, con uso estratégico de riego. Para ello se parte de dos hipótesis de trabajo: 1) el riego en las rotaciones agrícolas aumenta la productividad física y económica del sistema y 2) la sostenibilidad a largo plazo está afectada por el grado de intensificación de los sistemas agrícolas.

LEELP2 plantea dos rotaciones agrícolas con riego estratégico y duración variable según incluyan o no una fase pastoril, y toma un sistema de cultivo continuo de soja como control. La rotación agrícola-ganadera (AG) tiene una fase agrícola de tres años integrada por los cultivos de trigo, soja y maíz intercalados con un cultivo de cobertura (avena), seguido de una fase de pasturas de tres años. La rotación agrícola (A) dura tres años y es igual a la fase de cultivos de la rotación AG. El equipo para regar los cultivos de ambas rotaciones es un ala pivote y los riegos son estratégicos en momentos definidos para cada cultivo según el año. Por último, en el cultivo continuo (CC) se repite todos los años un cultivo de soja seguido de un cultivo de cobertura y no hay inclusión de riego. El manejo de la fertilización en el experimento se realiza según las recomendaciones agronómicas vigentes, en base al análisis de suelo y/o planta.

El diseño experimental de LEELP2 consiste en parcelas al azar con repeticiones en el tiempo (asincrónicas), donde todas las fases de la rotación están presentes al mismo tiempo. De esa forma se dispone de 10 parcelas de 50 m de ancho x 200 m de largo (1 ha). Una particularidad de este experimento es disponer subdivisiones (fajas) dentro de la parcela de CC, de forma de evaluar dentro de ella diferentes manejos del barbecho (raigrás, avena, suelo desnudo) y dos fechas de terminación del cultivo de cobertura, una fecha temprana (15 de setiembre) y otra tardía (15 de octubre).

El LEELP2 ha ido cambiando a lo largo del tiempo, según las secuencias de cultivos definidas en cada etapa. Al inicio, en 1998, las rotaciones eran menos intensivas: la rotación AG constaba de dos años de maíz y tres años de pradera de alfalfa y la rotación agrícola constaba de un año de maíz y dos años de trébol rojo. En ese momento el experimento abarcaba 8 ha. En 2005 se produce la primera modificación: la rotación agrícola se redefinió a cultivo de cobertura (avena), soja de primera, trigo, soja de segunda y maíz; mientras que la rotación AG pasó a ser cultivo de cobertura (avena), soja de primera, trigo, soja de segunda, maíz y seguido por tres años de una pradera mezcla de leguminosas y gramíneas (alfalfa y festuca o trébol blanco, festuca y trébol rojo).

También se incluyen dos parcelas más al experimento, que hasta ese momento estaban bajo agricultura, conformando el área total de 10 ha que se mantiene hasta la actualidad. Además, se inicia el manejo de soja continua sin riego en una parcela, la cual se subdivide para evaluar distintos cultivos de cobertura. En 2013 se define que la pradera de la rotación AG sea de festuca y alfalfa, y se incluye en las rotaciones AG y A un cultivo de cobertura (avena) antes del maíz. Finalmente, en 2017, la rotación AG cambió el orden de la secuencia,



Foto: INIA

Figura 10 - Vista de las fajas del experimento donde se aprecian los tratamientos de manejo del barbecho dentro de la parcela de CC.

pasando a sembrar la pastura luego del cultivo de soja y no sobre rastrojo de maíz. Este diseño es el actual en el experimento.

Luego de varios años y de estabilización de los sistemas, el experimento se encuentra ante el desafío de analizar la pertinencia de introducir cambios en las secuencias de cultivos, tomando como referencia los sistemas de producción en expansión en el litoral agrícola, sin perder de vista el fin último de evaluar la sostenibilidad de los procesos de intensificación y gestión del riego.

Estudiar el impacto a largo plazo de la inclusión del riego en sistemas agrícolas desde un enfoque multidisciplinario, es esencial para lograr una intensificación sostenible de los sistemas.



Foto: INIA

Figura 11 - Vista de las parcelas de 1 ha del experimento.

PdILELP: Intensificación sostenible de rotaciones arroceras

PdILELP Intensificación sostenible de rotaciones arroceras



Inicio: 2012
Área total: 7,5 ha
Diseño: parcelas con repeticiones sincrónicas
Evaluación de 6 rotaciones arroceras de intensidad variable

Objetivo

- ▶ Evaluar la sostenibilidad de distintos escenarios de intensificación de la rotación en los sistemas de producción de arroz.

Hipótesis

- ▶ Aunque sistemas integrados y diversos tienen mejores indicadores respecto a sistemas más intensos y simples, hay espacios de intensificación sostenible.

Diseño

- ▶ Bloques completos al azar con 4 repeticiones sincrónicas.
- ▶ 60 parcelas (1200 m² c/u).
- ▶ Siembra sin laboreo.
- ▶ Pastoreo rotativo de pasturas con ovinos.
- ▶ Uso previo del sitio: 30 años arroz-pasturas.

Evaluaciones

- ▶ Productividad y estabilidad de rendimiento.
- ▶ Resultado económico.
- ▶ Dinámica de plagas, malezas y enfermedades.
- ▶ Inocuidad de granos.
- ▶ Ecoeficiencia (nutrientes, agua, energía).
- ▶ Calidad de suelo y agua.
- ▶ Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.
- ▶ Secuestro de carbono.
- ▶ Biodiversidad.
- ▶ Huellas ambientales: carbono, agua, energía, ecotoxicológica.



	1		2		3		4		5		6	
	Prim-Ver	Oto-Inv	Prim-Ver	Oto-Inv	Prim-Ver	Oto-Inv	Prim-Ver	Oto-Inv	Prim-Ver	Oto-Inv	Prim-Ver	Oto-Inv
Arroz - Pastura Larga	Arroz	Raigrás	Arroz		Festuca-Trébol Blanco - Lotus corniculatus							
Arroz - Pastura Corta	Arroz	Raigrás-Trébol Rojo										
Arroz - Soja - Pastura	Arroz	Raigrás	Soja	Raigrás	Soja	Trébol Alej.	Arroz	Raigrás perenne - Lotus corniculatus				
Arroz - Cultivos	Arroz	Raigrás	Soja	Trébol Alej.	Arroz	Trébol Alej.	Sorgo	Trébol Alej.				
Arroz - Soja	Arroz	Raigrás	Soja	Trébol Alej.								
Arroz Continuo	Arroz	Trébol Alej.										

Plataforma Agroambiental
Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente

Unidad Experimental
de Paso de la Laguna



Figura 12 - Ficha descriptiva del experimento.

El experimento PdILELP “Intensificación sostenible de rotaciones arroceras” está localizado en la Unidad Experimental de Paso de la Laguna de INIA Treinta y Tres (S33° 6'23"; W54° 10'24"; 22 m sobre nivel del mar). Se instaló en 2012 en un suelo Brunosol subeutrítico lúvico (Argialbol) de la Unidad La Charqueada con 30 años de historia de uso arrocero-pastoril previo, representativo del sistema productivo de la región. En una primera instancia, y ante el desafío de pensar diferentes caminos de intensificación productiva, el experimento busca responder la pregunta: ¿Qué pasa en términos productivos, económicos y ambientales cuando se intensifica una rotación arroz-pasturas?

En el PdILELP se estudian diferentes escenarios de intensificación del uso del suelo, mediante rotaciones arroz-pasturas y otros cultivos agrícolas y de cobertura, que representen alternativas sustentables en términos productivos, ambientales y económicos. En particular

se contrastan seis rotaciones: Arroz – Pastura Larga de 3,5 años (mejor testigo tecnológico), Arroz-Pastura Corta de 1,5 años, Arroz-Soja-Pastura de 2,5 años, Arroz-Cultivos de verano (arroz-soja-sorgo), Arroz-Soja y Arroz Continuo, este último no practicado en el país (Figura 12). Cada fase de las seis rotaciones está representada por una parcela útil de 1200 m² (60 x 20 m), repetida tres veces en el espacio. A su vez, la fase pasturas de las rotaciones es pastoreada directamente con ovinos.

Para responder a la pregunta de investigación planteada, se realizan evaluaciones de la productividad física y económica de los sistemas, la calidad del suelo, la dinámica de malezas, y la incidencia y severidad de enfermedades. Además, se investigan aspectos relacionados con el secuestro y dinámica de C en el suelo, la emisión de gases de efecto invernadero y su relación con los microorganismos involucrados en el



Figura 13 - Vista aérea del experimento en la Unidad Experimental de Paso de la Laguna.

proceso, la eficiencia de uso y el balance de nutrientes, la calidad del agua, la inocuidad del grano y el impacto ambiental de los fitosanitarios empleados, entre otros.

Si bien el experimento es joven, los primeros 10 años de investigación muestran diferencias significativas entre los niveles de intensificación planteados, en las tres dimensiones: productiva, económica y ambiental. A nivel productivo, los rendimientos promedio de granos para arroz, soja y sorgo fueron de 10.600, 2.500 y 4.800 kg/ha/año, respectivamente; mientras que las pasturas rindieron entre 4.000 y 8.000 kg/ha/año de materia seca y una producción de carne ovina estimada entre 220-290 kg/ha. A su vez los rendimientos de arroz luego de un cultivo de soja o de una pastura fueron 20 y 12 % mayores, respectivamente, a los obtenidos después de un rastrojo de arroz. A nivel económico, el sistema arroz-soja mostró márgenes brutos similares, pero más variables que el sistema arroz-pastura larga. Finalmente, el sistema arroz-pastura larga logró aumentar el nivel de carbono orgánico del suelo a una

En PdILELP convergen instituciones y disciplinas para entender mejor los procesos y el funcionamiento de los agroecosistemas arroceros y así diseñar sistemas de producción sostenibles.

tasa de 0,6 t/ha/año, mientras que los sistemas más intensivos (arroz-soja, arroz continuo) mantuvieron los niveles identificados al inicio del experimento.

Existen dos aspectos claves en el diseño e implementación del PdILELP "Intensificación de sistemas de rotaciones arroceras": en primer lugar, el experimento fue discutido y consensuado con actores clave del sector productivo, lo que garantiza la pertinencia y la conexión con la realidad productiva para así responder tanto las preguntas e inquietudes actuales, como adelantarse a los potenciales problemas que puedan surgir; en segundo lugar, en estos primeros años, se desarrollaron varios proyectos de investigación colaborativa con otras instituciones e investigadores nacionales e internacionales, contribuyendo con la formación de recursos humanos, y documentando técnica y científicamente los resultados obtenidos. De esta forma, el experimento "Intensificación sostenible de rotaciones arroceras" en el Paso de la Laguna es un espacio en el cual convergen distintas instituciones y disciplinas con el fin de entender mejor el funcionamiento y los procesos de los agroecosistemas arroceros y las relaciones causa-efecto entre producción y ambiente para contribuir a su diseño y manejo sostenible.



Figura 14 - Día de campo previo a la cosecha de arroz, dirigido a productores, estudiantes y asesores técnicos.

LaBELP: Recuperación de la salud del suelo en sistemas hortícolas

LaBELP Recuperación de la salud del suelo en sistemas hortícolas



Inicio: 2012 (módulo I)
2017 (módulos II y III)
Área total: 7.500 m²
Diseño: parcelas con repeticiones sincrónicas
Evaluación de 5 manejos de suelo

Objetivo

- ▶ Contribuir a restaurar la salud del suelo en sistemas hortícolas.
- ▶ Ajustar tecnologías para mantener y recuperar el suelo.
- ▶ Crear un espacio de investigación, aprendizaje y diálogo multidisciplinario sobre la salud del suelo



Diseño

- ▶ Rotación de 9 años dividida en 3 fases: pradera de alfalfa, cultivo de verano + abono verde (AV) de invierno y cultivo de invierno + AV de verano.
- ▶ Cada fase se implementa en un módulo de 2.500 m², en el cual se aplican 5 manejos siguiendo un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones.
- ▶ Las tres fases se desarrollan simultáneamente, permitiendo simular la rotación completa en 3 años.

Hipótesis

- ▶ **Convencional:** dos cultivos hortícolas al año, laboreo convencional y fertilización química.
- ▶ **Convencional mejorado:** un cultivo hortícola al año, laboreo convencional, AV incorporado y fertilización con estiércol aviar y compost.
- ▶ **Alternativo 1:** un cultivo hortícola al año, laboreo reducido, AV en superficie y fertilización con compost.
- ▶ **Alternativo 2:** un cultivo hortícola al año, laboreo reducido, AV en superficie y fertilización con estiércol aviar.
- ▶ **Alternativo 3:** un cultivo hortícola al año, laboreo reducido, AV en superficie y fertilización con estiércol aviar y compost.

Evaluaciones

- ▶ **Suelo**
 - Propiedades físicas: resistencia a la penetración, densidad aparente, porosidad y humedad.
 - Propiedades químicas: análisis mineralógicos, carbono orgánico y pH.
 - Propiedades biológicas: respiración, carbono activo, proteína del suelo y macrofauna.
- ▶ **Cultivo**
 - Fenología, rendimiento, calidad y nutrición, e incidencia de malezas

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Módulo I	Alfalfa			Avena	Boniato	Avena	Tomate	Avena	Calabacín				
Módulo II	Avena	Repollo	Sorgo	Espínaca	Sorgo	Remolacha	Sorgo	Alfalfa					
Módulo III	Avena	Boniato	Avena	Tomate	Avena	Calabacín	Avena	Repollo	Sorgo	Espínaca	Sorgo	Remolacha	Sorgo

Plataforma Agroambiental
Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente

Estación Experimental
Wilson Ferreira Aldunate



Figura 15 - Ficha descriptiva del experimento.

El experimento LaBELP “Recuperación de la salud del suelo en sistemas de hortícolas” está localizado en la Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate - INIA Las Brujas, en el departamento de Canelones (34°40’19’’S, 56°20’24’’W; 29 m sobre nivel del mar). Fue instalado en un área con importante deterioro del suelo debido al uso continuo en horticultura convencional durante más de 40 años. Esta situación es representativa de la producción hortícola nacional, que se desarrolla sobre suelos con severa erosión antrópica (MGAP,2020). El suelo es un Brunosol Éútrico Típico (Argiudol Típico) de la formación Libertad, con textura franco arcillo limosa y pendientes suaves a moderadas entre 1,5 a 3 %.

El desafío de este experimento es generar información que contribuya a entender los procesos que sostienen la producción hortícola y así contribuir al diseño de sistemas más sostenibles que permitan a las

familias productoras proveer alimentos de calidad sin comprometer la viabilidad de los recursos para las futuras generaciones. La hipótesis del trabajo plantea que es posible recuperar la salud del suelo y hacer viable la producción hortícola minimizando los impactos ambientales negativos como erosión, contaminación de fuentes de agua dulce y pérdida de biodiversidad.

LaBELP cuenta con tres módulos que se iniciaron en 2012 (Módulo I) y 2017 (Módulos II y III), con una rotación de pasturas y cultivos hortícolas que dura nueve años. Dentro de cada módulo operan tres fases productivas: la fase de cultivos hortícolas de verano, cultivos hortícolas de invierno y pasturas. La asignación de las fases a cada módulo está desfasada en el tiempo, de manera que puedan coexistir todas en un mismo momento. Independientemente del módulo o fase productiva, se establecen cinco manejos en los cuales se combinan tres factores: sistemas de laboreo (convencional o reducido), uso o no de abonos



Figura 16 - Actividades rutinarias del experimento: laboreo de suelo y aplicación de compost, evaluaciones en cultivo y cosecha de hortalizas.

verdes y estrategias de fertilización (química u orgánica). Los manejos definidos se disponen en parcelas dentro de cada módulo, dispuestas en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las evaluaciones se han focalizado en determinar la productividad y viabilidad de las propuestas de manejo conservacionista, la erosión hídrica, las pérdidas de nutrientes (C, N, P) por escurrimiento e infiltración y la biodiversidad del suelo. A futuro se plantea además estudiar la dinámica de malezas y su manejo, explorar nuevas formas de fertilización orgánica y el ajuste de los manejos evaluados considerando la reducción del uso de agroquímicos.

En estos pocos años transcurridos desde el inicio del experimento ya se evidencian diferencias entre manejos en la salud del suelo y la productividad. La erosión acumulada entre 2012 y 2015 colectadas en los sedimentos, fue cuatro veces menor en el Manejo Alternativo 3 (MA3) que en el Manejo Convencional (MC), lo mismo ocurrió con las pérdidas de carbono orgánico, nitrógeno y fósforo, en diferentes magnitudes. Por otro lado, en 2017 al final del ciclo de remolacha en el Módulo I, las variables que evalúan la salud del suelo fueron mejores en el Manejo Convencional Mejorado (MCM) y en MA3 que, en el MC con mayores niveles de nutrientes (COrg, N, P, K), disminución de los agregados menores a 0,25 mm, menor densidad

La recuperación de la salud del suelo es un proceso de mediano y largo plazo, que implica cambios graduales, especialmente en situaciones de alta degradación.

aparente, mayor actividad microbiana estimada mediante la respiración del suelo y mayor biodiversidad de microorganismos del suelo. Es importante destacar que, si bien las enmiendas orgánicas incrementaron y/o mantuvieron el carbono orgánico del suelo, se observó un efecto no deseado de acumulación de fósforo por el uso frecuente de estiércol aviar. Finalmente, el MCM consistentemente ha integrado el grupo de manejo de mayor productividad, evidenciando la importancia de los “procesos de transición” en la recuperación de la salud del suelo, agregando cambios gradualmente, especialmente en situaciones de alta degradación.

El LaBELP es uno de los pocos experimentos de largo plazo centrado en la producción hortícola. Ofrece oportunidades únicas de estudio e intercambio con diversos actores del sector, pero también su diseño permite explorar y responder interrogantes causa-efecto específicas de los procesos involucrados en la producción de alimentos. Esta particularidad ha permitido establecer múltiples cooperaciones nacionales e internacionales que enriquecen al equipo de personas que trabaja en el experimento, y contribuyen con la formación de investigadores e investigadoras nacionales.

REFERENCIAS

MGAP. 2020. https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/EROSION_ANTROPICA_Intensidad_del_proceso_erosivp.jpg

Cerecetto, V.; Smalla, K.; Nesme, J.; Garaycochea, S.; Fresia, P.; Sørensen, S.J.; Babin, D.; Leoni, C. 2021. *Reduced tillage, cover crops and organic amendments affect soil microbiota and improve soil health in Uruguayan vegetable farming systems. FEMS Microbiology Ecology 97, fiab023.*

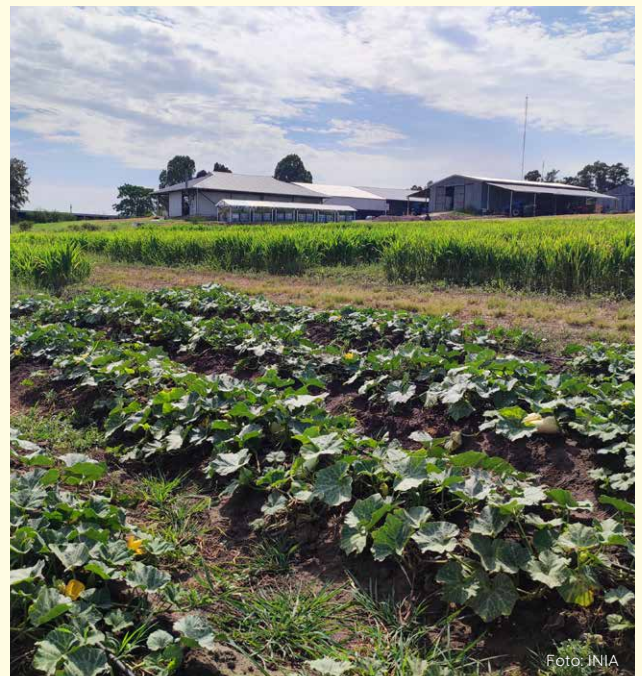


Figura 17 - Cultivos temporada 2023-2024: calabacín y avena negra.

PaPELP2: Sistemas extensivos de producción ovina sobre Campo Natural

PaPELP2 Sistemas extensivos de producción ovina sobre Campo Natural



Inicio: 2021
Área total: 12 ha
Diseño: parcelas con repeticiones sincrónicas
Evaluación de 4 intensidades de pastoreo continuo de CN

Objetivo

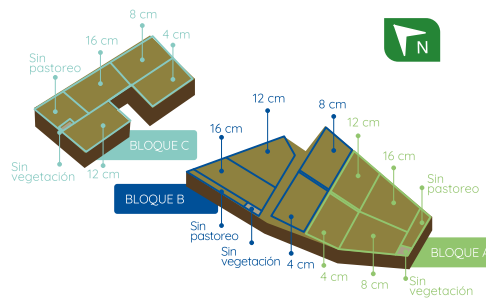
- ▶ Evaluar el efecto del manejo del pastoreo del campo natural sobre la sostenibilidad productiva y la huella ambiental.

Hipótesis

- ▶ Una intensidad de pastoreo moderada (8-12 cm) fomenta una estructura vegetal que incrementa el consumo de forraje por los animales, promueve una mayor producción vegetal y animal; y aumenta la provisión de servicios ecosistémicos.

Diseño

- ▶ Parcelas al azar, con 3 repeticiones sincrónicas.
- ▶ Unidad experimental: parcela de 1 ha.



Manejos

- ▶ Cuatro intensidades de pastoreo continuo según altura del tapiz: muy baja (>16 cm), baja (12 cm), moderada (8 cm) y alta (<4 cm).
- ▶ Dos controles: sin pastoreo (TPS) y sin cobertura vegetal (TPS).

Evaluaciones

- ▶ Quincenales: altura del pasto y ajuste de carga animal.
- ▶ Mensuales: masa de forraje, tasa de crecimiento de forraje, ganancia de peso individual y ganancia de peso por área.
- ▶ Anuales: diversidad florística, propiedades físico-químicas y biológicas del suelo de 0-15 cm.
- ▶ Cada 5 años: stock de carbono hasta 80 cm de profundidad.

Plataforma Agroambiental
 Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente

Unidad Experimental
 Palo a Pique



Figura 18 - Ficha descriptiva del experimento.

El experimento PaPELP2 “Sistemas extensivos de producción ovina sobre Campo Natural” está localizado en la Unidad Experimental Palo a Pique de INIA Treinta y Tres (33° 15' 10" S, 54° 30' 15" W, y 45 m de altitud), donde predomina la comunidad de pastizales densos característicos de la región de Lomas del Este, que sostiene la producción ganadera extensiva. Es frecuente observar en la región manejos inadecuados del pastoreo que resultan en una baja productividad primaria (pasto) y secundaria (carne, lana), y que afectan negativamente algunos servicios ecosistémicos como la preservación de la biodiversidad, el ciclado de nutrientes y la captura de carbono. Todo esto compromete la sostenibilidad de los sistemas de producción basados en campo natural.

El experimento PaPELP2 busca identificar criterios (“metas”) de manejo del pastoreo que apoyen la toma de decisiones a nivel predial y comprender las principales relaciones suelo-planta-animal-atmósfera

en sistemas extensivos de campo natural de Uruguay en el largo plazo. Para ello se parte de la hipótesis que la intensidad de pastoreo moderada (altura promedio de la vegetación entre 8 y 12 cm) promueve una estructura vegetal que permite lograr altas tasas de consumo de forraje por parte de los animales y, en consecuencia, mayor producción vegetal y animal (individual y por área), así como un aumento en la provisión de otros servicios ecosistémicos (ej. mayor secuestro de carbono en el suelo, mayor diversidad florística) en comparación con intensidades de pastoreo muy bajas o muy altas (alturas de 16 o 4 cm, respectivamente).

En el ELP se evalúan diferentes estructuras de forraje en pastoreo continuo con ovinos, basadas en la altura promedio del pasto: 4, 8, 12 y 16 cm. Además, se cuenta con dos áreas testigo, una mantenida sin pastoreo y una mantenida sin vegetación (Figura 18). El pastoreo se realiza con corderas Corriedale Pro de



Figura 19 - En el experimento se evalúan diferentes estructuras de forraje en pastoreo continuo con ovinos.

El adecuado manejo del pastoreo es la clave para el desempeño de sistemas extensivos basados en campo natural. Por lo tanto, generar datos científicos a largo plazo en estos sistemas de producción es la base para una ganadería sostenible.

aproximadamente 11 meses de edad al principio de la estación de pastoreo. Cada año, la estación de pastoreo va del 15 de setiembre al 15 de mayo, totalizando aproximadamente 240 días de pastoreo. Entre el 15 de mayo y el 15 de setiembre, los potreros con pastoreo son diferidos, y se quedan sin animales. Todos los años un nuevo grupo de animales entra en el ELP. Las corderas utilizadas en el ELP son destetadas en enero, fuera del ensayo, y entran en el ELP en setiembre. Para mantener los tratamientos, cada 15 días y después de las mediciones de altura de forraje se ajusta la carga animal en cada potrero, o sea, además de los tres animales fijos en cada potrero, se ingresan o se sacan animales volantes (no permanentes) cuando es necesario.

El conjunto básico de datos colectados en el ELP se definió para comprender las principales relaciones suelo-planta-animal-atmósfera. Se realizan evaluaciones y mediciones quincenales (altura del pasto y ajuste de carga animal), mensuales (masa de

forraje, tasa de crecimiento de forraje, y ganancia de peso individual y por área), anuales (diversidad florística y muestreo superficial de suelo a 0-15 cm para las propiedades físicoquímicas y biológicas) y cada cinco años (stock de carbono hasta 80 cm de profundidad).

Con los resultados generados en este ELP a largo de los años, se espera contribuir con datos científicos sólidos locales que indiquen cuáles son las estructuras de pasto óptimas para el manejo adecuado del campo natural en Uruguay. La estructura ideal basada en la altura será una herramienta para que los productores utilicen en sus establecimientos rurales y así incrementar la producción, reducir los riesgos y producir de forma sostenible. Además, se espera que la información generada sirva de base al diseño de políticas públicas que ayuden a los productores rurales en la implementación de buenas prácticas para el manejo del campo natural y, consecuentemente, para una producción sostenible de alimentos.



Figura 20 - Diferentes alturas de pasto en evaluación y áreas testigo (sin pastoreo y sin vegetación).

GELP: Sistemas de manejo del pastoreo en Campo Natural

GELP Sistemas de manejo del pastoreo en Campo Natural



Inicio: enero 2023
Área total: 150 ha
Diseño: mini-predios de 50 ha con
pastoreo mixto (vacunos+ovinos)
Evaluación de 3 Sistemas de Pastoreo (SP)

Objetivo

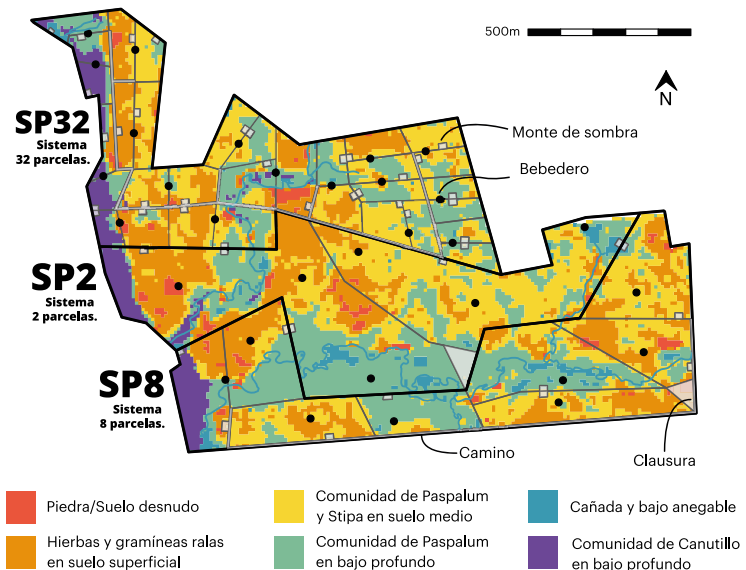
- ▶ Mejorar la producción animal y servicios ecosistémicos en sistemas ganaderos sobre campo natural.
- ▶ Innovar en el manejo del pastoreo por comunidades del campo natural.
- ▶ Crear un espacio de investigación y aprendizaje del manejo del campo natural.

Diseño

- ▶ Igual proporción de cada comunidad vegetal.
- ▶ Igual carga animal al inicio del experimento.

Evaluaciones

- ▶ Productividad animal y vegetal.
- ▶ Impacto ambiental.
- ▶ Resultado económico.
- ▶ Requerimientos de trabajo.



Plataforma Agroambiental
Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente

Unidad Experimental
Glencoe



Figura 21 - Ficha descriptiva del experimento.

El experimento GELP: "Sistemas de manejo del pastoreo en Campo Natural" se inició en 2023. Está localizado en la Unidad Experimental Glencoe en el departamento de Paysandú (32° 00' 21" S, 57° 08' 01" W, 124 m sobre nivel del mar), dependiente de INIA Tacuarembó. El área experimental es representativa de la producción ganadera extensiva nacional, particularmente de los sistemas ganaderos basados en campo natural en suelos superficiales, medios y profundos de la región de Basalto.

Uruguay posee un sólido conocimiento científico sobre el manejo del pastoreo del campo natural a nivel de parcela y de potrero, pero son escasos los estudios de largo plazo para evaluar el efecto de la gestión del pastoreo sobre las comunidades vegetales, y los procesos productivos y ambientales de los sistemas ganaderos. A su vez, en un trabajo conjunto entre investigadores, técnicos y productores referentes

en el manejo del campo natural, se identificó la baja productividad como un tema central a resolver, lo que tiene implicancias negativas en la producción animal, provisión de servicios ecosistémicos, y la estabilidad y resiliencia de los sistemas ganaderos. En este contexto, el GELP busca responder la pregunta: ¿Cómo intensificar el manejo del pastoreo para incrementar en forma sostenible la producción de sistemas ganaderos mixtos basados en campo natural?

El GELP fue pensado de forma de simular predios comerciales, para lo que se estableció un diseño de "mini-predios" o sistemas. Se definieron tres sistemas experimentales de pastoreo de 50 ha cada uno, pero con diferente número de subdivisiones: dos, ocho o 32 potreros.

La división de los potreros en los mini-predios se realizó de forma tal que presentasen proporciones similares



Foto: INIA

Figura 22 - El experimento busca simular predios comerciales de ganadería mixta sobre campo natural.

de las comunidades vegetales, considerando además la productividad forrajera previa y la topografía del terreno (Figura 21) (Devincenzi *et al.* 2021). El pastoreo se realiza en forma mixta y simultánea con vacas de cría Hereford y borregos Merino superfinos y ultrafinos provenientes de predios comerciales del CRILU (<https://crlu.org.uy/web/>), y todos los sistemas tienen acceso a sombra de montes implantados con especies nativas y exóticas, y acceso al agua con bebederos ubicados a menos de 300 m. En el primer año del experimento, los tres sistemas (SP2, SP8, SP32) se pastorearon con igual carga animal (24 vacas y 24 borregos). En los años siguientes, la carga animal será ajustada en dos momentos al año para comparar los sistemas en un nivel similar de altura de forraje (4 a 6 cm de altura promedio anual).

El campo natural es el patrimonio ecológico y la principal base nutricional de la ganadería en Uruguay que, además de alimentos (carne) y fibras naturales (lana),

produce otros importantes servicios ecosistémicos para la sociedad en su conjunto. Con la información que se genere en GELP se espera evaluar la performance productiva, económica y ambiental de sistemas experimentales de producción conducidos por reglas de decisión, e innovar en la gestión del conocimiento para mejorar la sostenibilidad de los sistemas ganaderos basado en campo natural, y crear una plataforma de aprendizaje del manejo del campo natural con los diversos actores de la actividad ganadera del país.

Devincenzi, T., Jaurena, M., Durante, M., Savian, J. V., Ciappesoni, G., Navajas, E., Ciganda, V., Lattanzi, F. and Paruelo, J. (2021). *Building the GLENCOE Platform-Grasslands LENDING eCONOMIC and ecOSYSTEMS sERVICES*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 547301.

El Grupo de Apoyo del GELP, integrado por productores y técnicos referentes en la manejo del campo natural, es fundamental en el seguimiento, monitoreo y evaluación del experimento, así como en la comunicación de los resultados y la transferencia de tecnología al sector ganadero.



Foto: INIA

Figura 23 - Visita de un grupo de productores y técnicos al experimento.

La visión de referentes sobre la Plataforma Agroambiental de INIA

“Los desafíos que enfrenta la humanidad para producir alimentos suficientes en un clima cambiante requieren investigación multidisciplinaria detallada, la disponibilidad de conjuntos de datos a largo plazo y la integración entre sectores; es decir, científicos, agricultores, formuladores de políticas e industria en general. Además, es necesaria la comunicación entre países para compartir conocimientos, ya que estos son desafíos globales. INIA Uruguay ha desarrollado y mantiene experimentos robustos a largo plazo que incluyen los principales sistemas agrícolas del país. Además, su comunicación con las políticas y la industria a nivel nacional e internacional demuestra su compromiso para enfrentar estos desafíos”.

Dra. Laura Cardenas
Net Zero and Resilient Farming
Rothamsted Research (Reino Unido)

“La existencia de una plataforma agroambiental en INIA, responde a una visión de largo plazo que sin duda se irá adaptando en el tiempo con la necesaria articulación con diversos actores. Destaco la relación con los productores y la extensión. Es una propuesta que es muy bienvenida y que estará en nosotros sacarle el máximo provecho. Uruguay necesita determinar rumbos claros, sin investigación a largo plazo, articulada con la extensión y la producción es poco posible lograr avances claros. Se nos presenta una enorme oportunidad de construir juntos el “rumbo” que Uruguay precisa. El desafío será participar para, entre todos, lograr lo que el país merece”.

Ing. Agr. Marcelo Pereira
Coordinador del programa de pasturas naturales
Instituto Plan Agropecuario

“Las plataformas experimentales son un espacio integrador, donde es posible trabajar sobre un mismo problema de manera multi e interdisciplinaria. Las diferencias en la formación de cada investigador adquieren valor por su aporte al conjunto a la vez que se potencia su propio desarrollo. La característica “largo plazo” da oportunidad a que se manifiesten las propiedades emergentes de los sistemas que se evalúan, transformándose en un laboratorio en el que es posible “leer el futuro” y en una potente herramienta para la difusión y promoción de sistemas y tecnologías de producción. Como interpretar y transformar los resultados obtenidos es más que la suma de las partes, se valoriza la agronomía”.

Ing. Agr. PhD. Oswaldo Ernest
Departamento de Producción Vegetal
Facultad de Agronomía, Udelar

“Visualizamos a esta iniciativa como un espacio de valiosa integración del conocimiento generado, a partir de los experimentos de largo plazo como un significativo aporte para la toma de decisiones tanto a nivel productivo y en el desarrollo de políticas públicas. EL avance reciente en el conocimiento de la dinámica del carbono y de los gases de efecto invernadero se alinean con las demandas actuales de la agenda nacional e internacional”.

Ing. Agr. Martín Mattos
Director de Recursos Naturales
Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca

“La Plataforma Agroambiental de INIA está integrando una diversidad de manejos y enfoques agrícolas para identificar y caracterizar la gestión sostenible de la tierra en beneficio de diferentes partes interesadas en Uruguay. Esta inversión sin duda proporcionará una base científica sólida para las decisiones políticas en la región hoy y en el futuro. Los experimentos a largo plazo brindan valiosos beneficios productivos, económicos, sociales y ambientales cuando se mantienen las inversiones en recursos. Esta plataforma única brindará no solo oportunidades únicas de investigación, sino también divulgación y educación para agricultores y formuladores de políticas. Al abarcar las principales industrias de granos, horticultura y ganadería, la plataforma sin duda brindará beneficios inmensurables”.

PhD Alan J. Franzluebbbers
Plant Science Research Unit
Agricultural Research Service - USDA (EE.UU.)

“La existencia de ensayos de largo plazo en distintos agroecosistemas es muy importante en la investigación ecológica. El Grupo de Ecología de Pastizales de la Facultad de Ciencias (GEP) ha aprovechado oportunidades brindadas por las plataformas experimentales de INIA. Por ejemplo, las clausuras al pastoreo en Glencoe: las situaciones pareadas permitieron analizar los efectos de la herbivoría. En los experimentos montados en pastizales remanentes de La Estanzuela se estudian los efectos de las diferentes dimensiones del pastoreo sobre la estructura y funcionamiento de la vegetación. Un desafío sería integrar a otros actores académicos al diseño de los experimentos. Las plataformas existentes constituyen un ámbito muy valioso, sin embargo, incorporar a otros actores en la definición de las preguntas, podría dar lugar a diseños experimentales más versátiles. Una gobernanza interinstitucional sería ventajosa, no sólo académicamente, sino también para obtener recursos, contribuyendo a la infraestructura y operatividad de las plataformas”.

Dra. Alice Altesor
Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales
Facultad de Ciencias, Udelar

Colaboraciones institucionales

A continuación se presentan, en orden alfabético, las instituciones con las cuales la Plataforma Agroambiental de INIA hoy interactúa más asiduamente. Las colaboraciones son diversas y comprenden instituciones nacionales e internacionales del ámbito académico, educativo, productivo y político.

Instituciones nacionales: Asociación de Cultivadores de Arroz/GMA (ACA), Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), Consorcio Regional de Innovación de Lanús Ultrafinas del Uruguay (CRILU), Federación Uruguaya de Centros Regionales de Experimentación

Agropecuaria (FUCREA), Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE), Instituto Plan Agropecuario (IPA), Instituto Pasteur-Montevideo, LATU-Latitud, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Ministerio de Ambiente, Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC), Universidad de la Empresa (UDE), Universidad de la República (Udelar).

Instituciones internacionales: Cranfield University (Reino Unido), Fondo Latinoamericano de Arroz Irrigado, Global Farm Platform, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA - EE Concepción, Argentina), Julius Kühn-Institute (Alemania), Management Research, Max Planck Institute (Alemania), Ministerio de Agricultura – BMEL (Alemania), Rothamsted Research (Reino Unido), Sustainable Rice Platform, UC Davis (EE.UU.), Université Paris-Saclay (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Francia), USDA-ARS (EE.UU.), Wageningen University & Research (Países Bajos).

Equipos participantes en la Plataforma y en el informe

Este informe especial es resultado del trabajo conjunto del equipo técnico de la Plataforma Agroambiental de INIA e integrantes de la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología (UCTT). Se agradece especialmente a todos los colaboradores de INIA que hacen posible el funcionamiento y permanencia en el tiempo de la red de experimentos: personal de campo, asistentes de investigación, laboratoristas, y personal de las diversas áreas de gestión y administración.

También, la colaboración y aportes de los estudiantes e investigadores que han realizado estudios en los ELP. **Equipo técnico de la Plataforma Agroambiental INIA:** Carolina Leoni (coordinadora, LaBELP), Andrés Quincke (LEELP1), Pablo Rovira (PaPELP1), María Cristina Capurro (LEELP2), José Terra (PaPELP1, PdILELP), Ignacio Macedo (PaPELP1, PdILELP), Fabiana Hernández (LaBELP), Jean Savian (PaPELP2), Fabio Montosi (GELP), Martín Jaurena (GELP), Thais Davicenzi (GELP), Verónica Ciganda (Directora Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente*).

Por UCTT: Joaquín Lapetina, Mónica Trujillo, Luisina Mezquita, María Emilia Guinovart.

*Cargo ejercido hasta setiembre de 2024, pasando luego al de investigadora.

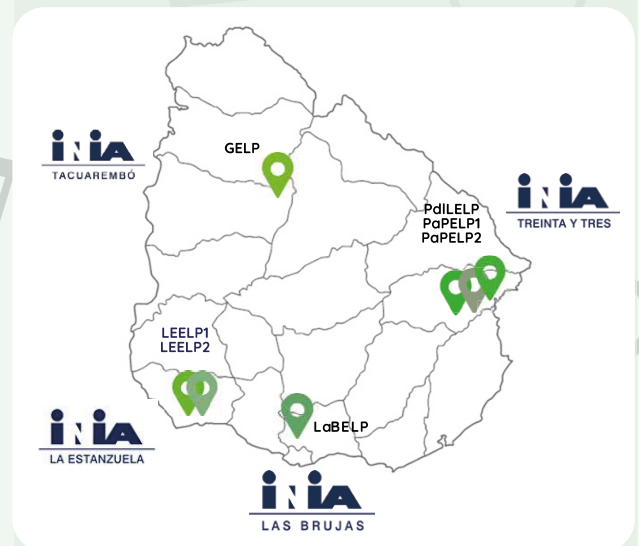


Foto: INIA