

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DINÁMICA DE LA AGRICULTURA EN EL URUGUAY Y SU
EVOLUCIÓN EN EL PERIODO 2015 – 2023**

por

Sofia PEJO HENDERSON

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

PAYSANDÚ

URUGUAY

2025

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr (Dr.) Gonzalo Rizzo

Tribunal:

Ing. Agr (Dr.) Gonzalo Rizzo

Ing. Agr (Dr.) Pedro Arbeletche

Ing. Agr (Mag.) Joaquín Peraza

Fecha: 19 de diciembre de 2025

Estudiante:

Sofía Pejo Henderson

AGRADECIMIENTOS

Las palabras siempre se quedan un poco cortas cuando uno quiere poner en ellas todo lo que siente y poder agradecer.

Mis padres fueron mi primer pilar. Fueron ellos quienes me regalaron una caja de herramientas. No solo las herramientas fundamentales —como el esfuerzo, la constancia y el compromiso—, sino también el lugar donde guardarlas, cuidarlas y entender que algunas tardan en mostrarse útiles, pero que todas tienen su momento. La caja que ellos me dieron no fue vacía: venía cargada de valores, y con espacio para seguir llenándola.

A mi hermana Caro, le agradezco por sumarle a esa caja unas herramientas muy distintas: más blandas, más sutiles, pero igual de necesarias. Ella me enseñó a manejar el lado humano, a reconocer emociones, a confiar en los procesos, y a hablar con claridad y cariño. Como si me hubiera dado un par de guantes de trabajo: no cambian las herramientas, pero me permiten usarlas con mayor sensibilidad.

A Juan Pedro, gracias por aparecer justo cuando más lo necesitaba. Por hacer el estudio más divertido, motivarme cada día, y por recordarme (con cinta aisladora y todo) que *“la organización es la clave del éxito”*.

A Gonzalo, mi tutor, gracias por alumbrar el camino en este proyecto que, por momentos, pareció más una expedición que una tesis. Gracias por la confianza y demostrar que un buen tutor no solo alumbrar el camino, sino que deja encendida la luz, incluso cuando no está.

A mis amigos, gracias por ser parte de este proceso, por acompañarme y por ser engranajes invisibles pero fundamentales en esta etapa.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.2 HIPÓTESIS	11
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 EVOLUCIÓN DE LA AGRICULTURA EN EL URUGUAY	12
2.2 NIVELES DE RENDIMIENTO Y BRECHA DE RENDIMIENTO	14
2.3 RENDIMIENTO ACTUAL: CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 SISTEMATIZACIÓN DE LOS DATOS	17
3.1.1 Estimación del rendimiento	18
3.2 FUENTES DE REFERENCIAS PARA VALIDACIÓN Y ANÁLISIS	20
3.2.1 Fuentes de información.	20
3.2.2 Validación cruzada.	21
3.3 MAPAS A NIVEL DEPARTAMENTAL	22
3.3.1 Mapas a nivel departamental de rendimiento	22
3.3.2 Mapas a nivel departamental de superficie sembrada.	22
3.4 VARIABILIDAD INTERANUAL DE LOS RENDIMIENTOS	23
3.5 DINÁMICA DE LA SUPERFICIE DE SIEMBRA Y RENDIMIENTOS	23
4. RESULTADOS	24
4.1 VALIDACIÓN DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN	24
4.2 DINÁMICA PRODUCTIVA Y ESTABILIDAD INTERANUAL DEL CULTIVO DE SOJA	28
4.3 DINÁMICA PRODUCTIVA Y ESTABILIDAD INTERANUAL DEL CULTIVO DE MAÍZ	31
4.4 DINÁMICA PRODUCTIVA Y ESTABILIDAD INTERANUAL DE LOS CULTIVOS DE INVIERNO: TRIGO, CEBADA, BRÁSSICAS	35
4.5 EVOLUCIÓN DEL ÁREA CULTIVADA	39
4.6 ESTUDIO DE LAS TENDENCIAS DE RENDIMIENTO POR CULTIVO	42

	6
5. DISCUSIÓN	46
6. CONCLUSIONES	49
7. BIBLIOGRAFÍA	50
8. ANEXO	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Comparación de las estimaciones nacionales propias con fuentes oficiales	25
Figura 2 Comparación departamental entre estimaciones propias y Encuesta Agrícola	26
Figura 3 Comparación nacional y departamental del área sembrada de soja con fuentes oficiales	27
Figura 4 Distribución espacial del rendimiento y del área sembrada de soja por sistema de manejo (promedio 2015–2023)	29
Figura 5 Variabilidad temporal del rendimiento de soja mediante CV% a nivel departamental	31
Figura 6 <i>Distribución espacial del área y rendimiento de maíz por sistema de manejo</i>	33
Figura 7 Variabilidad temporal del rendimiento de maíz mediante CV% a nivel departamental	35
Figura 8 Distribución espacial del área y rendimiento de cultivos de invierno (promedio 2015-2023)	37
Figura 9 <i>Variabilidad temporal del rendimiento de cultivos de invierno mediante CV% departamental</i>	39
Figura 10 <i>Evolución temporal del área sembrada total en Uruguay (2015 – 2023)</i>	40
Figura 11 <i>Dinámica interanual del área sembrada por cultivo y sistema de manejo (2015–2023)</i>	42
Figura 12 Tendencias de rendimiento para Soja	43
Figura 13 <i>Tendencias de rendimiento para Maíz</i>	44
Figura 14 Tendencias de rendimiento para cultivos de invierno	45

RESUMEN

La escasez de información pública y sistemática sobre rendimientos y áreas sembradas a escala departamental constituye una de las principales limitantes para analizar la dinámica productiva de Uruguay y para avanzar en la estimación de brechas de rendimiento. Las estadísticas oficiales disponibles se presentan mayoritariamente a nivel nacional, lo que impide capturar la heterogeneidad espacial de los sistemas agrícolas del país. Frente a esta ausencia de datos subnacionales, el propósito de este trabajo fue generar por primera vez mapas departamentales de área sembrada y rendimiento para soja (1ª, 2ª y riego), maíz (1ª, 2ª y riego), trigo, cebada y brásicas en el período 2015–2023, utilizando como insumo central una base inédita de más de 10.000 registros de productores provenientes de las Encuestas Agrícolas de DIEA y procesada íntegramente en RStudio.

Se desarrolló una base consolidada y estandarizada a partir de las Encuestas de invierno y primavera. Las estimaciones fueron posteriormente sometidas a un proceso de validación cruzada con fuentes oficiales nacionales e internacionales. Los mapas construidos a partir de estas estimaciones permitieron visualizar, la distribución espacial de la productividad agrícola y superficie sembrada. Finalmente, se analizó la evolución temporal del área agrícola y las tendencias de rendimiento por cultivo.

Los resultados revelan que, si bien el área agrícola total se mantuvo relativamente estable durante el período analizado, el sistema productivo experimentó transformaciones profundas: incremento del doble cultivo, diversificación creciente y una expansión del maíz de segunda y de las brassicas. La soja se mantuvo como el cultivo dominante, con más de la mitad del área concentrada en el litoral oeste (Soriano, Río Negro y Colonia), región que también exhibió los rendimientos más altos y la menor variabilidad interanual. En maíz, los sistemas bajo riego demostraron ventajas claras en rendimiento y estabilidad, consolidándose como una herramienta estratégica frente a la variabilidad climática.

Palabras clave: Uruguay, agricultura, mapas departamentales, rendimiento actual, DIEA

ABSTRACT

The absence of reliable information on crop yields and sown area at subnational level represents a limitation for analyzing agricultural dynamics in Uruguay and for estimating yield gaps. Official agricultural statistics are reported almost exclusively at the national scale, without reflecting the spatial heterogeneity that characterizes the country's production systems. In response to this limitation, the aim of this study was to generate, for the first time, departmental-level maps of sown area and yield for soybean (first season, second season, and irrigated), maize (first season, second season, and irrigated), wheat, barley and brassicas for the period 2015–2023, using an unprecedented dataset of more than 10.000 producer-level records from DIEA's Agricultural Surveys, fully processed and systematized in RStudio.

A consolidated and standardized database was developed from the Winter and Spring Surveys, followed by a cross-validation process using national and international official sources to evaluate the consistency of the estimates. The resulting maps provide a detailed visualization of the spatial distribution of agricultural productivity and sown area across the country. Additionally, temporal trends in total agricultural area and crop-specific yield trajectories were analyzed to identify structural changes over the study period.

Results show that, although Uruguay's total agricultural area remained relatively stable, the production system experienced significant transformations: an increase in double-cropping, greater diversification, and a marked expansion of second-season maize and brassicas. Soybean remained the dominant crop, with more than half of the sown area concentrated in the western departments (Soriano, Río Negro and Colonia), which also exhibited the highest yields and lowest interannual variability. For maize, irrigated systems showed clear advantages in both yield and stability, positioning irrigation as a key strategy for coping with climatic variability.

Keywords: Uruguay, agriculture, subnational maps, actual yield, DIEA

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la población y la mejora en sus estándares de vida inevitablemente conllevan a la expansión e intensificación de la agricultura para poder satisfacer la creciente demanda de alimentos. Es en este marco que la Organización de las Naciones Unidas (ONU), a través de sus objetivos de desarrollo sostenible para el 2030, plantea la necesidad de equilibrar el aumento de la producción agrícola con la conservación de los servicios ecosistémicos (Trendov et al., 2019). Para ello resulta clave contar con datos consistentes, independientes y actualizados que permitan dimensionar la extensión agrícola y su productividad en diferentes contextos (Trendov et al., 2019).

En Uruguay el sector agropecuario representa entre el 6% y 7% del PBI (Uruguay XXI, 2024). En particular, la superficie destinada a cultivos cerealeros e industriales mostró una fuerte expansión desde las 298 mil hectáreas sembradas en la zafra 2001-2002, hasta alcanzar un máximo de 1.600 hectáreas en 2014-2015 (Arbeletche, 2020). En los últimos años, esta tendencia se revirtió parcialmente, estabilizándose en torno a las 1.250 mil hectáreas (Arbeletche, 2020).

Determinar las brechas de rendimiento, que es la diferencia entre el rendimiento real y el rendimiento de referencia o potencial, constituye una etapa clave para avanzar hacia sistemas más productivos y eficientes. No obstante, para cuantificar estas brechas es un requisito ineludible el contar con información precisa sobre los rendimientos logrados por los productores de las diferentes zonas del país. En Uruguay, la información pública sobre rendimientos logrados por los productores es registrada por la Oficina de Estadísticas Agropecuarias (DIEA) y publicada a escala nacional en los anuarios estadísticos.

Dado que la información pública se reporta principalmente a escala nacional y escasamente para algunos departamentos, persiste una ausencia crítica de datos con resolución subnacional que permitan caracterizar la producción. Para solucionar esta limitación, este trabajo desarrolla estimaciones departamentales de área y rendimiento a partir de las Encuestas Agrícolas de la DIEA. Estas encuestas, que recogen anualmente las respuestas de más de 900 productores distribuidos en todo el territorio,

ofrecen una base para generar los primeros mapas a escala departamental para el Uruguay.

1.1 OBJETIVOS

- Construir mapas departamentales de rendimiento y superficie sembrada para soja, maíz, trigo, cebada y brassicas.
- Estudiar la evolución de la superficie sembrada y del rendimiento de estos cultivos a nivel de departamento para el período 2015 - 2023.

1.2 HIPÓTESIS

1. Las estimaciones obtenidas a partir de la base de datos de la encuesta de DIEA son consistentes con otras fuentes de información.
2. Dichas estimaciones reflejan una estabilidad general en la superficie agrícola durante la última década y diversificación de los cultivos.
3. La expansión agrícola hacia nuevas zonas no tradicionales ha generado diferencias regionales en los rendimientos, con una menor variabilidad en las áreas agrícolas consolidadas del litoral oeste.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 EVOLUCIÓN DE LA AGRICULTURA EN EL URUGUAY

En el trabajo de Arbeletche y Pintos (2023) se menciona que desde comienzos del siglo XXI, la agricultura de secano en Uruguay experimentó un proceso de crecimiento sostenido, aunque no homogéneo. Los autores explican a que eso se debe por el desarrollo de la actividad que estuvo basado en zonas con distinta aptitud agrícola. Desde las áreas agrícolas tradicionales del litoral, favorecidas por su cercanía a los puertos de exportación, la producción de soja fue expandiéndose hacia otras zonas del país. Comentan que las regiones centro y norte, de menor aptitud y mayor distancia a los puertos, constituyeron las superficies de expansión más reciente de la agricultura, pero también fueron las primeras en registrar su retracción.

Este crecimiento de la soja cambió la relación de superficie sembrada entre los cultivos de invierno y de verano. Se produce un proceso de “veranización de la agricultura” dado que la mayor parte del área corresponde a los cultivos de verano que dejan de jugar un papel secundario dentro del área de siembra de secano, para pasar a ser los principales en pocos años. Este proceso se vio conjuntamente acompañado por otro de “intensificación” en el uso de la tierra, realizándose un doble cultivo invierno/verano (Arbeletche et al., 2010).

Según Arbeletche (2020) se distinguen tres subperiodos en la evolución del sector. El primero abarca desde los primeros años del siglo hasta aproximadamente 2005-2006 y se caracteriza por la llegada al país de empresas, principalmente de origen argentino, vinculadas a los denominados pools de siembra y empresas en red. Estas firmas introdujeron un nuevo modelo de gestión basado en el arrendamiento de tierras y la tercerización de las labores agrícolas, lo que les permitió expandirse rápidamente. Como resultado, desplazaron a muchos productores locales que, tras la crisis económica de comienzos de los 2000 y elevados niveles de endeudamiento, no pudieron competir con las nuevas formas de producción. Este proceso significó un cambio profundo en la estructura productiva: el sistema tradicional de rotación entre agricultura y pasturas fue reemplazado por esquemas de agricultura continua, donde la secuencia trigo-soja pasó a dominar el paisaje agrícola nacional.

El segundo subperiodo se extiende hasta la zafra 2010-2011 y marca una etapa de ajuste dentro del proceso de expansión. Varias de las empresas que habían llegado en la primera ola comenzaron a retirarse del país. Las sucesivas zafras con bajos rendimientos de soja, y las dificultades para sostener un doble cultivo tan intensivo como esperaban, aceleraron este repliegue. En contrapartida, muchos productores uruguayos, ya con sus finanzas más estabilizadas, recuperaron las tierras que habían arrendado y adoptaron algunas de las estrategias empresariales utilizadas por los capitales extranjeros. Hacia el final de este periodo, las grandes empresas agrícolas en red comenzaron a disminuir el área sembrada principalmente en la región centro y noreste del país y aumentando de esa manera la presión sobre los suelos de mayor aptitud agrícola del litoral (Arbeletche & Pintos, 2023).

El tercer subperiodo, que se inicia en 2011 y se extiende hasta la actualidad, se caracteriza por una reducción del área sembrada y una intensificación en el uso de los suelos de mayor potencial agrícola. Este cambio responde a la combinación de dos factores que actuaron de forma simultánea: por un lado, la caída de los precios internacionales de los *commodities*, que afectó la rentabilidad de la producción en suelos menos productivos; por otro, la implementación en Uruguay de una normativa nacional que regula y controla el uso y manejo de los suelos agrícolas. Ambas circunstancias modificaron el escenario productivo. El resultado fue un proceso de concentración sobre los suelos de mayor aptitud, donde las empresas aumentaron la intensidad de uso en un área más moderada (Arbeletche, 2020).

En todo este trascurso la superficie destinada a cultivos cerealeros e industriales aumentó de 298 mil hectáreas a inicios del siglo a 1,6 millones de ha en la zafra 2014-2015, para luego disminuir hasta los actuales 1,2 millones de ha. La superficie de soja se multiplicó por diez en poco más de una década, alcanzando alrededor de 1,3 millones de hectáreas en 2014-2015, para luego reducirse a un millón en los años siguientes (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2019b).

Estos procesos derivaron en un uso más intensivo del suelo, evidenciado por una mayor presencia del doble cultivo y en el aumento sostenido de la intensidad agrícola. A comienzos de siglo, este indicador se ubicaba por debajo de 1,10; hacia 2014/15 ya había crecido a valores entre 1,30 y 1,40, y para 2023 alcanzó aproximadamente el valor de 1,6 (DIEA, 2023a).

La intensificación agrícola es acompañada por la diversificación de cultivos, principalmente de la fase de invierno, pero también con la expansión del área de maíz. El trigo, que fue el cultivo dominante hasta 2014/15, dejó de ser el cultivo predominante, mientras se observó un incremento en la superficie destinada a cebada y brásicas (Contatore & Ernst, 2024).

2.2 NIVELES DE RENDIMIENTO Y BRECHA DE RENDIMIENTO

Según Evans y Fischer (1999), el rendimiento potencial (Y_p) se define como el rendimiento de un cultivar cuando el cultivo crece en un ambiente al cual está adaptado con agua y nutrientes no limitantes y con el estrés biótico efectivamente controlado. Los autores comentan que en esas condiciones, la tasa de crecimiento está determinada por la radiación, la temperatura, el CO_2 atmosférico y características genéticas que determinan la duración del ciclo y la capacidad de interceptar luz. Y_p representa el límite superior teórico del rendimiento de un cultivar en un sitio dado, que puede aproximarse mediante modelos de simulación de cultivo correctamente calibrados y evaluados

Por su parte, Evans y Fischer (1999) también definen el rendimiento potencial limitado por agua (Y_w) que es análogo de Y_p en condiciones de secano. En este nivel de rendimiento, la tasa de crecimiento es, a su vez, limitada por la disponibilidad hídrica, por lo que también depende del tipo de suelo (capacidad de almacenaje de agua y profundidad radicular) y la topografía (escorrentía).

Tal como se define en Van Ittersum et al. (2013), el rendimiento actual (Y_a) se interpreta como el rendimiento real logrado por los productores en una región, promediado en el espacio y el tiempo bajo las prácticas predominantes (fechas de siembra, densidad, madurez del cultivar, manejo la nutrición y protección fitosanitaria). La diferencia entre Y_p (o Y_w en condiciones de secano) y el rendimiento promedio de los productores (Y_a), se define como la brecha de rendimiento (Y_g). Asimismo, en el mismo trabajo se explica que la brecha de rendimiento explotable representa la diferencia entre el rendimiento logrado por los productores (Y_a) y lo teóricamente alcanzable bajo condiciones de manejo óptimas, estimado como el 80% de Y_p o Y_w en secano.

2.3 RENDIMIENTO ACTUAL: CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

El presente trabajo se enmarca en los lineamientos metodológicos del Global Yield Gap Atlas (GYGA), una iniciativa internacional cuyo objetivo es el de estimar rendimientos potenciales y brechas de rendimiento a escala global mediante protocolos estandarizados y comparables. El enfoque de GYGA se basa en cuatro principios fundamentales: (i) preferencia por utilizar datos medidos en lugar de datos estimados o interpolados; (ii) transparencia, reproducibilidad y consistencia en la selección de datos; (iii) incorporación de expertos locales para validar y, cuando es necesario, obtener la información con relevancia agronómica; y (iv) fuerte preferencia por datos de acceso público (Global Yield Gap Atlas, s.f.). La metodología se organiza en un esquema por niveles para cada tipo de información requerida: clima, sistema de cultivo, suelo, rendimiento actual (Ya) y calibración del modelo, con el fin de asegurar estándares mínimos de calidad, aún bajo condiciones contrastantes de disponibilidad de datos (Global Yield Gap Atlas, s.f.). En este contexto, el presente trabajo final de grado se focaliza en la generación de estimaciones robustas de Ya, las cuales contribuirán a la base de futuros trabajos orientados a la estimación de brechas de rendimiento (Yg).

Las estimaciones de Ya presentan varias restricciones metodológicas. En la publicación de Grassini et al. (2015) se proponen criterios específicos para estimar el Ya, organizados en cuatro dimensiones:

Se requiere una desagregación adecuada: clasificar a los cultivos de primera y doble cultivo, y distinguir entre regímenes hídricos (secano; irrigado). En algunos casos, hasta es necesario definir la sequencia, ya que esta condiciona el nivel inicial de agua en el suelo y, por extensión, el Yw.

La cantidad de años con datos depende de la capacidad de registro de cada país. Se recomienda utilizar la mayor cantidad posible de observaciones provenientes de los años más recientes. Cuando existe una tendencia en los rendimientos, se sugiere utilizar los cinco años más recientes para estimar el promedio; en ausencia de tendencia, se recomienda un periodo aproximado de diez años, pudiéndose aceptar series de tres a cuatro años cuando no existe mayor disponibilidad.

La información de Ya debe estar disponible en escalas subnacionales, como municipios o departamentos, para representar adecuadamente la variabilidad. Cuando las estadísticas nacionales no existen a una resolución adecuada o presentan baja confiabilidad, una alternativa viable es estimar Ya mediante encuestas a productores o información recopilada por instituciones nacionales de investigación o el sector privado.

La calidad de la información constituye un punto crítico, dado que no es viable relevar la mayoría de los predios dentro de una región o en un mismo año. La incertidumbre asociada al Ya se evalúa comparando estimaciones provenientes de fuentes independientes para una misma combinación región-año. Este contraste no permite establecer cuál fuente es más precisa, pero refleja una señal clara del nivel de confiabilidad alcanzable con los datos estimados.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 SISTEMATIZACIÓN DE LOS DATOS

El presente trabajo se basó en microdatos anonimizados de las encuestas agrícolas de primavera e invierno de la DIEA (comunicación personal, 2024), correspondientes al período 2015 – 2023. La información recabada representa una muestra estratificada y representativa de la superficie y los rendimientos de los cultivos a nivel nacional. Se realizan de forma anual en dos campañas: la Encuesta de Invierno, que releva información sobre los cultivos de verano de la zafra (soja, maíz y otros), y la Encuesta de Primavera, que recoge datos de los cultivos de invierno (trigo, cebada, canola y carinata). Los formularios se presentan en los Anexos (Tabla A1).

Los archivos originales fueron provistos por la DIEA (comunicación personal, 2024) en formato Excel (.xlsx) y organizados en 18 carpetas (nueve correspondientes a la encuesta de invierno y nueve a la de primavera), una por cada año agrícola del período analizado. En total, el conjunto inicial comprendía más de 13.000 registros y aproximadamente 40 variables. En cada carpeta anual, los archivos relevantes fueron estratégicamente renombrados como “*tabla_cultivos_procesar.xlsx*”, lo que permitió la implementación de bucles de procesamiento automatizados (“*loops*”) para procesar más fácilmente la información.

El procesamiento de los datos se llevó a cabo en RStudio (versión 2024.12.0+467), utilizando el lenguaje R para la mayoría de las operaciones de limpieza, transformación y análisis. Se emplearon principalmente las librerías “*data.table*” (versión 1.15.4) para la manipulación eficiente de grandes volúmenes de datos, “*readxl*” (versión 1.4.3) para la importación de archivos en formato Excel, y “*ggplot2*” (versión 3.5.2) para la generación de gráficos y mapas. La gestión y el intercambio de los scripts se realizaron mediante un repositorio privado en GitHub, lo que permitió mantener un registro versionado del código y asegurar la transparencia y reproducibilidad de los resultados.

El primer paso consistió en procesar por separado los cultivos de invierno y los de verano, conformando dos bases de datos intermedias. Dado que la nomenclatura de las variables no era consistente entre años, se realizó una armonización de columnas,

renombrando las variables de acuerdo con un criterio único. En esta etapa también se definieron los cultivos y variables de interés, excluyendo aquellas no pertinentes al objetivo del estudio. Para los cultivos de verano se conservaron únicamente las correspondientes a soja (*Glycine max*) y maíz (*Zea mays*), mientras que para los cultivos de invierno se mantuvieron las variables asociadas a trigo (*Triticum aestivum*), cebada (*Hordeum vulgare*), canola (*Brassica napus*) y carinata (*Brassica carinata*), agrupando las dos últimas bajo el conjunto de brassicas.

Las variables principales incluyeron: formulario (identificador único del productor), expansor (factor de expansión construido a partir de *n_chica* y *N*), *dpto_cod* (código departamental) y, en algunos casos, *tabla_cultivos_id* (identificador del cultivo).

Algunos datos fueron reestructurados del formato ancho al largo ("*data reshaping: wide – to - long transformation*"), de manera de homogeneizar la estructura la información. En paralelo, durante todas las etapas intermedias se eliminaron registros incompletos y observaciones con valores faltantes (NA's). Finalmente, las bases de invierno y verano se combinaron ("*merge*") para obtener una base de datos consolidada (*df*), utilizada en los análisis subsiguientes.

3.1.1 Estimación del rendimiento

Uno de los principales desafíos metodológicos consistió en definir una estrategia para construir la variable de rendimiento representativa a partir de la información disponible. Dado que la base de datos presentaba heterogeneidad y registros incompletos, fue necesario aplicar un procedimiento lógico que permitiera aprovechar al máximo los datos existentes. En la etapa del procesamiento de las bases de invierno y verano por separado, se usó la función "*fifelse()*" del paquete "*data.table*" en Rstudio. La lógica implementada en este procedimiento fue la siguiente: (i) En los casos en que la producción total registrada era igual a cero, se optó por considerar el valor de rendimiento cosechado; (ii) Cuando la superficie cosechada era igual a cero, se asignó directamente un valor de cero, bajo el supuesto de que sin cosecha no es posible estimar un rendimiento; (iii) Finalmente, cuando ambos valores estaban disponibles, el rendimiento se calculó como el cociente entre la producción total y la superficie cosechada.

A partir de la base de datos consolidada (df), se estimaron las superficies y rendimientos expandidos a nivel nacional y departamental para cada cultivo, año, régimen hídrico y estación. En primer lugar, se estimaron las superficies sembradas y cosechadas expandidas mediante la multiplicación de los valores registrados en cada observación por su correspondiente factor de expansión. Este factor, definido como el cociente entre N_{grande} y n , permite extrapolar los resultados de la encuesta a valores representativos del total nacional. De manera adicional, se calculó la superficie de cosecha esperada expandida, asociada a aquellas chacras cuya cosecha aún no había finalizado al momento de la Encuesta. La suma de las superficies cosechadas y de cosecha esperada permitió obtener la superficie total cosechada expandida a nivel nacional. Las superficies se expresaron en hectáreas, y la proporción de área cosechada se calculó como el cociente entre la superficie cosechada y la superficie sembrada expandida. A partir de estas estimaciones también se derivó el área perdida, definida como la diferencia entre la superficie sembrada y la cosechada expandida. En anexos se presenta el script (Figura A1).

El rendimiento nacional se construyó en dos etapas y se integró en un único promedio ponderado entre los rendimientos cosechado y esperado. Los pesos corresponden a la proporción que representa la superficie sembrada expandida y la superficie de cosecha esperada expandida sobre la suma de ambas. De esta forma, el componente cosechado aporta en función de su peso relativo definido por el área sembrada expandida, y el componente de rendimiento esperado aporta en función de su peso relativo definido por el área de cosecha esperada expandida. Esto permite reflejar la contribución relativa de cada unidad productiva dentro del total nacional, evitando que lotes de menor superficie tuvieran el mismo peso que aquellos de mayor escala.

El rendimiento a nivel departamental se estimó siguiendo la misma estructura aplicada para las estimaciones nacionales, diferenciándose únicamente en la forma de agrupación sobre el cual se realizan los cálculos. Mientras que a nivel nacional las sumas y promedios ponderados se construyen considerando el conjunto total de observaciones pertenecientes a cada combinación de cultivo, año, régimen hídrico y estación, en el caso departamental estas mismas operaciones están condicionadas por el departamento, porque se incorpora explícitamente el identificador espacial (dpto_cod) en el conjunto de combinaciones.

3.2 FUENTES DE REFERENCIAS PARA VALIDACIÓN Y ANÁLISIS

Para evaluar la precisión y confiabilidad de las estimaciones obtenidas a partir de la base consolidada (df), se realizó un proceso de validación cruzada con datos oficiales y fuentes complementarias.

3.2.1 Fuentes de información.

En primer lugar, se construyó una base de referencia a partir de la información publicada por la DIEA (2015, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2019b, 2019c, 2020a, 2020b, 2021a, 2021b, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024b). Que corresponden a las Encuestas Agrícolas de Invierno y Primavera. Para ello, se revisaron individualmente cada uno de los informes, extrayendo los datos de superficie sembrada, y rendimientos publicados para cada cultivo y año a nivel nacional. No todos los años las encuestas publican la misma información. En los informes más recientes es posible encontrar información a nivel departamental. En los informes más antiguos, se asumió como criterio que los cultivos de verano bajo riego correspondían a cultivos de primera, salvo que el informe indicara explícitamente lo contrario. Asimismo, se destaca que las Encuestas de Primavera presentan un desplazamiento temporal, dado que la información publicada bajo un año calendario se refiere a los cultivos de invierno de la zafra previa. Por este motivo, las series se ajustaron temporalmente para mantener la consistencia.

En segundo lugar, se consultaron los Anuarios Estadísticos Agropecuarios publicados por DIEA, los cuales presentan estimaciones nacionales de área sembrada y rendimiento. Sin embargo, estos anuarios presentan ciertas limitaciones: no discriminan entre soja y maíz de primera o segunda, ni entre cultivos bajo riego y de secano. Además, al igual que en el caso de la FAO, en los Anuarios se identificaron desfases cronológicos en los cultivos de invierno, lo que requirió desplazar todos los valores un año hacia adelante. Es decir, un registro informado como 2020 se trató como 2021 para mantener la coherencia temporal con las estimaciones desarrolladas en este análisis.

En tercer lugar, se incorporó información proveniente de la Asociación Civil Uruguay para la Protección de los Obtentores Vegetales (URUPOV), organización que publica reportes anuales sobre el área sembrada de Soja y Colza. Se descargaron todos los informes disponibles entre 2017 y 2024 disponible en URUPOV (2024). Estos reportes, basados en observaciones satelitales, proporcionaron datos de superficie sembrada a nivel nacional y departamental, constituyendo una fuente complementaria de verificación independiente frente a las estimaciones oficiales.

Finalmente, los datos internacionales se obtuvieron de la base FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], (2025). Se aplicaron filtros específicos por countries (Uruguay), elements (Yield; Area Harvested), ítems (Barley, Maize (corn), Rape or colza seed, Soya beans y Wheat), years (2015-2023). Se descargó la información en formato .csv hasta el año 2023, versión más reciente disponible al momento del análisis. Cabe señalar que los registros de FAOSTAT reportan información de rendimiento y superficie cosechada a nivel nacional, y no discriminan entre soja y maíz de primera o segunda, ni reportan información sobre régimen hídrico. Durante la revisión de la base de datos, se detectó un desfase cronológico general en los registros de los cultivos de invierno, en los cuales los valores reportados para un año determinado correspondían en realidad al año agrícola previo. Para asegurar la coherencia temporal, se ajustaron todas las series restando un año a las fechas originales. En el caso particular del trigo, se observó además un desplazamiento irregular: los datos rotulados como 2021 correspondían a 2022, y los de 2022 a 2023, quedando 2021 sin información válida (NA). Finalmente, en las brassicas, el registro de 2016 fue excluido por presentar un valor anómalamente elevado respecto al resto de los años.

3.2.2 Validación cruzada.

Se realizaron comparaciones bivariados mediante regresiones lineales simples, ajustadas para cada combinación de cultivo y variable (área y rendimiento). En cada modelo se calculó el coeficiente de determinación (r^2) y la ecuación de regresión correspondiente, con el fin de cuantificar el grado de correlación y relación entre fuentes.

En una primera etapa, las estimaciones de este trabajo (df) se contrastaron con las principales fuentes oficiales nacionales: el Anuario Estadístico Agropecuario y las Encuestas Agrícolas; y posteriormente con la base FAOSTAT, extendiendo la validación a un marco internacional. Luego, se realizaron comparaciones entre las fuentes oficiales

entre sí (Anuario vs Encuesta Agrícola, Anuario vs FAO, Anuario vs URUPOV, y Encuesta Agrícola vs URUPOV). Finalmente, el análisis se trasladó a una escala menor, donde las estimaciones a nivel departamental se compararon con los valores publicados por las Encuestas Agrícolas y URUPOV.

3.3 MAPAS A NIVEL DEPARTAMENTAL

3.3.1 Mapas a nivel departamental de rendimiento

Para la construcción de los mapas de rendimientos por cultivo y departamento se utilizó la base de datos a nivel departamental estimada en este trabajo. En los cultivos de verano, las categorías de soja de primera y de segunda bajo riego se agruparon en una sola variable, calculando el rendimiento ponderado por superficie sembrada; el mismo procedimiento se aplicó para maíz. Se incluyeron únicamente los departamentos con al menos cuatro observaciones válidas dentro de la serie temporal de nueve años. A partir de los rendimientos promedio, se estimaron los terciles, que sirvieron como base para la clasificación de tres categorías discretas utilizadas en los mapas. La representación espacial se elaboró a partir del shapefile departamental de Uruguay (*gadm41_URY_1.shp*), disponible en el repositorio GADM (*Global Administrative Areas [GADM]*, s.f). La información geográfica se combinó con la base de datos mediante una unión (*"merge"*) por el identificador departamental (*dpto_name*). Los mapas se generaron en RStudio, empleando la librería *ggplot2* para la visualización y mejora de la estética.

3.3.2 Mapas a nivel departamental de superficie sembrada.

Los mapas de superficie sembrada se elaboraron a partir de la base departamental empleada previamente para los mapas de rendimiento, y también se consideraron únicamente los departamentos con cuatro o más años de observaciones. La superficie sembrada promedio por cultivo y departamento se estimó como la media aritmética de los registros. La representación espacial se realizó utilizando el shapefile departamental de Uruguay (*gadm41_URY_1.shp*), vinculado a la base de datos mediante una unión espacial por nombre de cada departamento (*dpto_name*).

3.4 VARIABILIDAD INTERANUAL DE LOS RENDIMIENTOS

La variabilidad interanual del rendimiento se analizó a partir de la misma base departamental empleada en los mapas de rendimiento y proporción de área sembrada. Se consideraron únicamente los departamentos con cuatro o más observaciones dentro del período 2015–2023, a fin de asegurar la consistencia temporal del análisis. En los cultivos de verano (soja y maíz) se consideraron tres situaciones: primera y segunda, ambas en secano, y una tercera correspondiente a cultivos bajo riego. En los cultivos de invierno (trigo, cebada y brassicas) no se realizaron distinciones por régimen hídrico. Para cada combinación de departamento y cultivo, se calculó la media y la desviación estándar del rendimiento. El coeficiente de variación (CV%) se estimó únicamente para los casos con al menos dos años de observaciones y valores promedio positivos y finitos.

3.5 DINÁMICA DE LA SUPERFICIE DE SIEMBRA Y RENDIMIENTOS

Para evaluar las tendencias de rendimiento y superficie se llevaron a cabo múltiples regresiones lineales para cada cultivo y variable analizada. El año 2023 fue excluido del análisis, ya que representó un evento climático extremo asociado a una sequía severa, cuya inclusión se consideró como que podría sesgar la estimación de las tendencias de largo plazo.

4. RESULTADOS

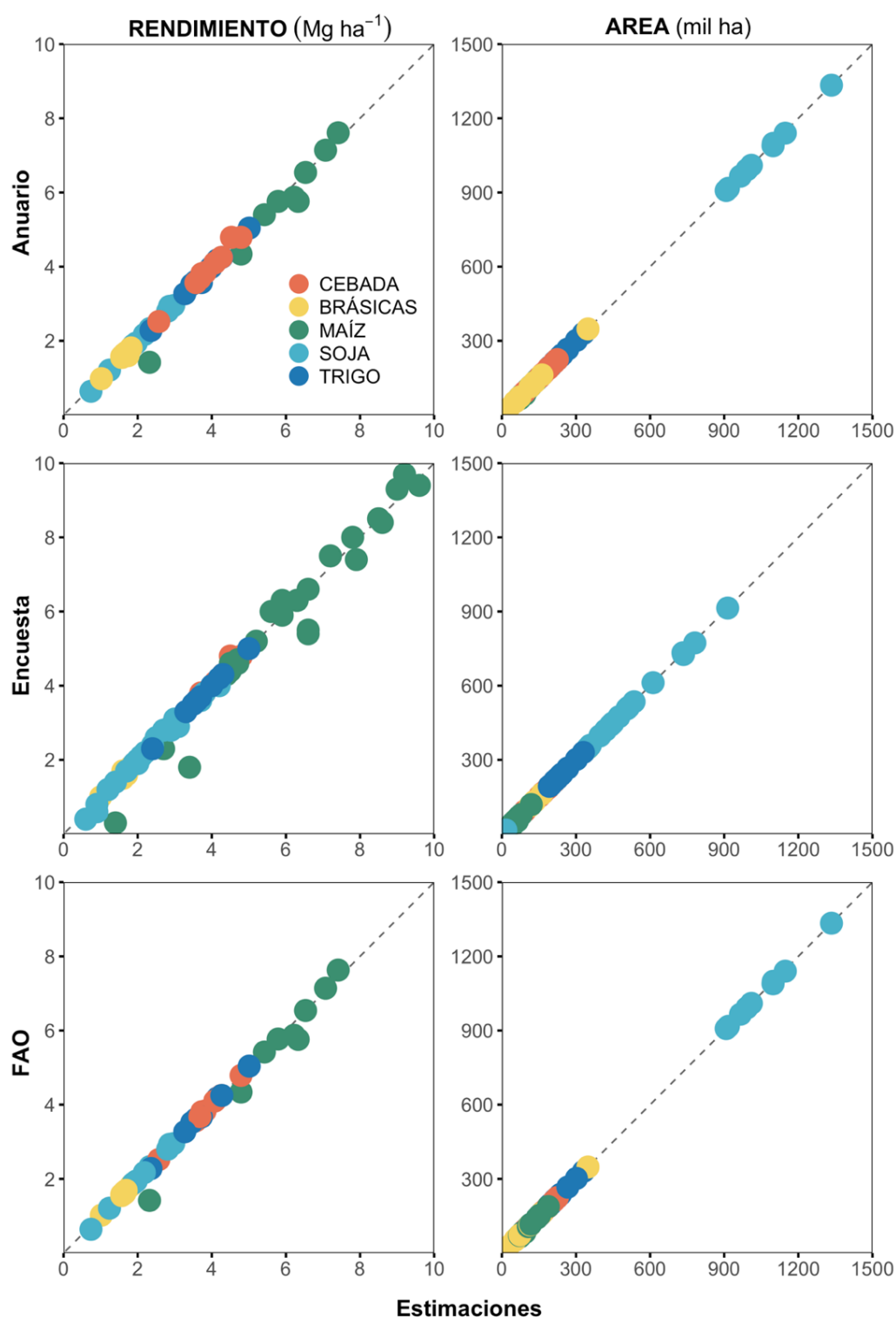
4.1 VALIDACIÓN DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN

En la Figura 1 se sintetiza la relación entre las estimaciones propias y las fuentes oficiales internacionales y nacionales para las variables rendimiento (Mg ha^{-1}) y área sembrada (mil ha), considerando a cada cultivo. Además, en Anexos (Figura A2) se encuentra disponible la validación de Anuario con respecto a FAO y las Encuestas Agrícolas.

En las comparaciones Anuario - Estimaciones y FAO - Estimaciones, no se detectaron diferencias significativas ni en la interacción cultivo $\times$ fuente ($p = 0.93$; $p = 0.92$) ni en los interceptos entre cultivos ($p = 0.15$; $p = 0.19$) respectivamente. Por lo tanto, se ajustaron modelos conjuntos, los cuales presentaron pendientes iguales a uno, ajustes prácticamente perfectos ($r^2 \approx 1.00$) y efectos altamente significativos de la variable explicativa ($p < 0.05$). En contraste, para Encuesta - Estimaciones, la interacción cultivo $\times$ fuente fue significativa ($p < 0.05$), evidenciando diferencias en la pendiente entre cultivos, mientras que los interceptos no difirieron ($p = 0.45$). Debido a esta interacción significativa, no fue adecuado utilizar un modelo conjunto para esta comparación.

Figura 1

Comparación de las estimaciones nacionales propias con fuentes oficiales

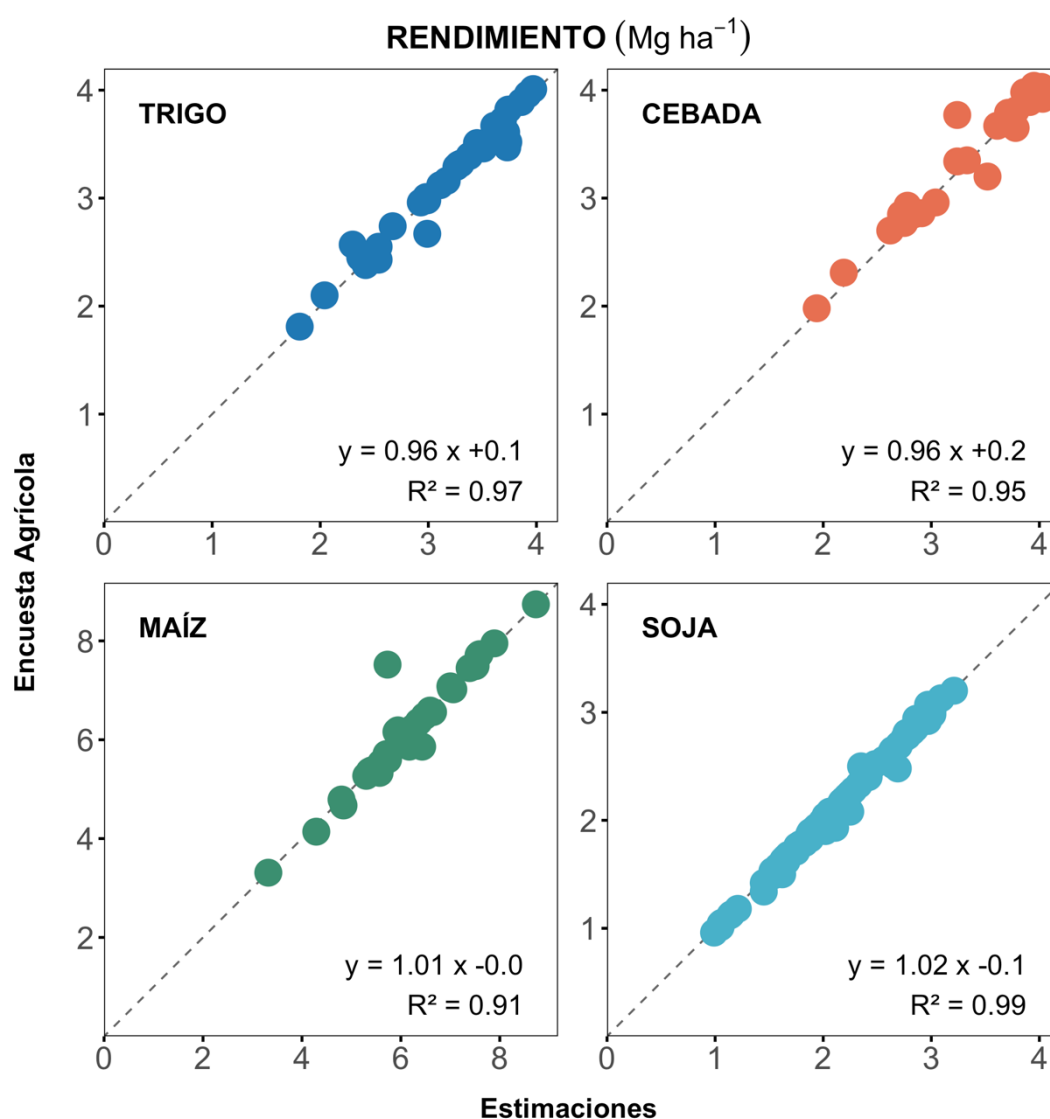


Nota. Elaborado a partir de DIEA (2015, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b, 2020a, 2020b, 2021a, 2021b, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024a, 2024b), FAO (2025) y DIEA (comunicación personal, 2024).

A nivel departamental se observó una correlación significativa entre los valores reportados por las encuestas agrícolas y las estimaciones realizadas en este estudio para los cultivos de trigo ($r^2 = 0.97$, $p < 0.05$), cebada ($r^2 = 0.95$, $p < 0.05$), maíz ($r^2 = 0.91$, $p < 0.05$), y soja ($r^2 = 0.99$, $p < 0.05$). En todos los casos, la pendiente de la regresión lineal fue cercana a uno indicando.

Figura 2

Comparación departamental entre estimaciones propias y Encuesta Agrícola



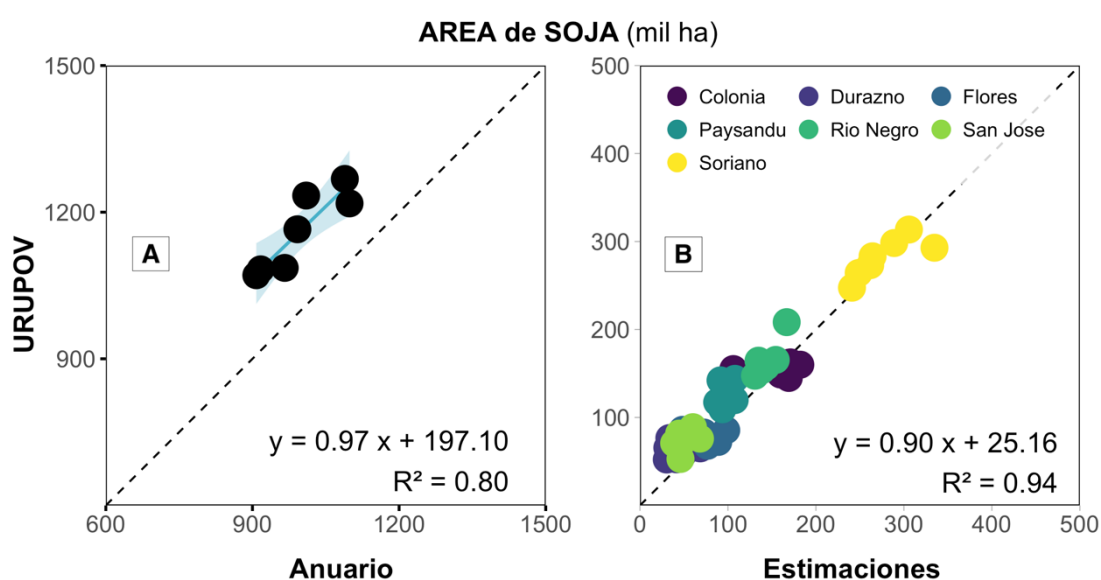
Nota. Elaborado a partir de DIEA (2015, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b, 2020a, 2020b, 2021a, 2021b, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024b), FAO (2025) y DIEA (comunicación personal, 2024).

En el caso del cultivo de soja, se realizó una validación de las estimaciones de superficie sembrada utilizando los datos reportados por URUPOV (2024), comparados a nivel nacional con el Anuario Estadístico (Figura 3A). El sesgo medio (MBE=164 mil ha) indica una sobrestimación por parte de URUPOV del orden del 16% superior a las estimaciones reportadas por DIEA a nivel nacional. El modelo de ajuste presentó un coeficiente de determinación de $r^2 = 0.80$, lo que evidencia una concordancia relativa entre ambas fuentes. Los residuos oscilaron entre -44.6 y 61.0 mil ha, sugiriendo que las discrepancias interanuales pueden alcanzar magnitudes próximas a ± 40 –60 mil ha.

A nivel departamental, la información de URUPOV (2024) fue contrastada con la estimada en el presente trabajo (Figura 3B), y complementariamente con los reportes de las Encuestas Agrícolas (Ver en Anexos, Figura A3). En esta escala, ambos modelos mostraron un ajuste elevado ($r^2 = 0.94$, $p < 0.05$), manteniéndose el sesgo positivo moderado (MBE=12.8 mil ha), equivalente a una sobreestimación del 11%.

Figura 3

Comparación nacional y departamental del área sembrada de soja con fuentes oficiales



Nota. Elaborado a partir de DIEA (2024a), URUPOV (2024) y DIEA (comunicación personal, 2024).

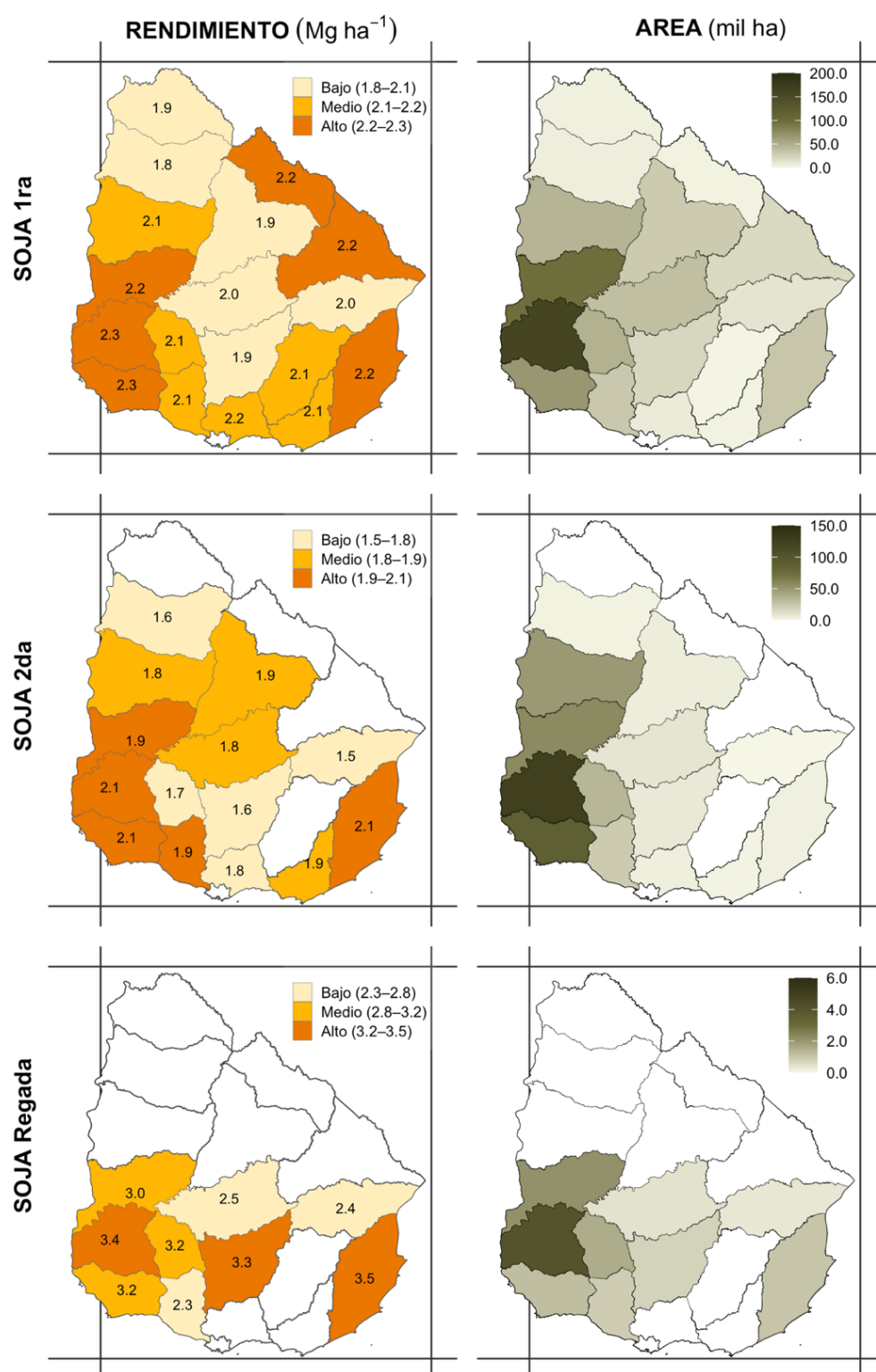
4.2 DINÁMICA PRODUCTIVA Y ESTABILIDAD INTERANUAL DEL CULTIVO DE SOJA

Durante el período 2015–2023, en este trabajo se obtuvo como resultado que el área total sembrada de soja en Uruguay se mantuvo estable y en el orden de las 1.1 Mha, integrada principalmente por soja de primera (630.9 mil ha) y soja de segunda (409.3 mil ha), mientras que la soja bajo riego representó tan solo el 1% del total nacional. Los rendimientos medios nacionales fueron de 2.2 Mg ha⁻¹ para soja de primera, 2.0 Mg ha⁻¹ para soja de segunda y 2.9 Mg ha⁻¹ bajo riego. El rendimiento medio de los sistemas de secano combinados alcanzó 2.1 Mg ha⁻¹, de modo que el riego representa un incremento relativo del 38%.

El área sembrada de soja se concentró marcadamente en el litoral oeste del país (Figura 4), donde se ubican los suelos de mayor aptitud agrícola. La superficie de soja se concentra en tres departamentos: Soriano (25%; 31%), Río Negro (16%; 22%) y Colonia (11%; 14%), acumulando más del 50% del área sembrada en soja de primera y alrededor del 66% de la soja de segunda en condiciones de secano, respectivamente. A su vez, los rendimientos más altos también se localizaron en estos departamentos, donde los rendimientos promediaron 2.3, 2.3 y 2.2 Mg ha⁻¹ para la soja de primera, y 2.1, 2.1 y 1.9 Mg ha⁻¹ para soja de segunda para los tres departamentos mencionados respectivamente. A su vez, la diferencia entre departamentos fue reducida, con un rango que en soja de primera osciló entre 1.8 y 2.3 Mg ha⁻¹. Hacia el noreste y norte del país, los rendimientos disminuyen de manera progresiva, mostrando una mayor amplitud de rango en el caso de la soja de segunda. Los rendimientos bajo riego se mantuvieron por encima del tercil superior de los sistemas de secano, reflejando un mejor desempeño.

Figura 4

Distribución espacial del rendimiento y del área sembrada de soja por sistema de manejo (promedio 2015–2023)



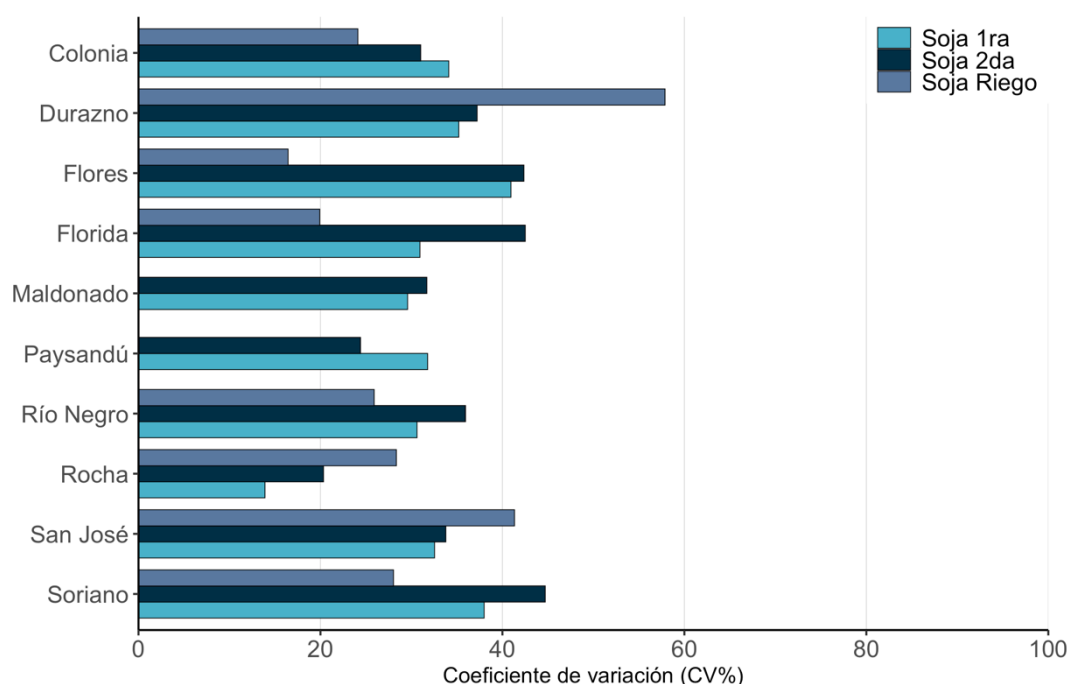
Nota. Mapas elaborados con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA (comunicación personal, 2024).

A escala nacional, los valores medios del CV para rendimiento fueron de 32% para soja de primera, 34% para soja de segunda y 30% para soja bajo riego, lo que indica que la variabilidad fue levemente menor en sistemas irrigados y más acentuada en la soja de segunda. En la mayoría de los departamentos (Figura 5), el CV de los sistemas irrigados se mantuvo por debajo del 30%. Sin embargo, Durazno alcanzó el 58%, debido a que los rendimientos fluctuaron entre 1.2 y 4.8 Mg ha⁻¹, en las cinco zafra que hubo reporte, evidenciando la inestabilidad interanual. Por el contrario, los principales departamentos productores (Soriano, Río Negro y Colonia) mostraron una mayor estabilidad productiva, con CV promedio de 34% para soja de primera, 37% para segunda y 26% para sistemas irrigados.

Al analizar la relación entre el rendimiento medio y la variabilidad interanual, se observó una pendiente negativa en todos los cultivos, lo que refleja, que a medida que el rendimiento promedio aumenta, la variabilidad tiende a disminuir. En la soja de primera, hay una tendencia negativa pero no significativa ($p = 0.07$), y el modelo mostró un ajuste limitado ($r^2 = 0.20$), posiblemente debido al número restringido de observaciones. En la soja de segunda, el efecto es claro, la relación negativa es altamente significativa, y el modelo explica cerca del 72% de la variación observada en el CV ($r^2 = 0.70$). También se observó una relación negativa significativa para la soja irrigada. El modelo explicó cerca del 52% de dicha variación ($r^2 = 0.50$), lo que sugiere que aún bajo riego, la relación entre rendimiento y variabilidad se mantiene.

Figura 5

Variabilidad temporal del rendimiento de soja mediante CV% a nivel departamental



Nota. Figura elaborada con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA (comunicación personal, 2024).

4.3 DINÁMICA PRODUCTIVA Y ESTABILIDAD INTERANUAL DEL CULTIVO DE MAÍZ

Durante el periodo analizado, el área total sembrada de maíz se mantuvo en el orden de las 115.2 mil ha, integrada principalmente por maíz de primera (59.6 mil ha) y maíz de segunda (42.50 mil ha), mientras que el maíz bajo riego representó aproximadamente el 11% de la superficie nacional, observándose una expansión en área sostenida durante el período analizado. Los rendimientos medios nacionales fueron de 5.7 Mg ha⁻¹ para el maíz de primera, 4.3 Mg ha⁻¹ para los de segunda y 9.2 Mg ha⁻¹ para maíz bajo riego. En conjunto los sistemas de secano se estiman en 4.9 Mg ha⁻¹, de modo que el riego representa un incremento relativo del 85% respecto al valor de secano.

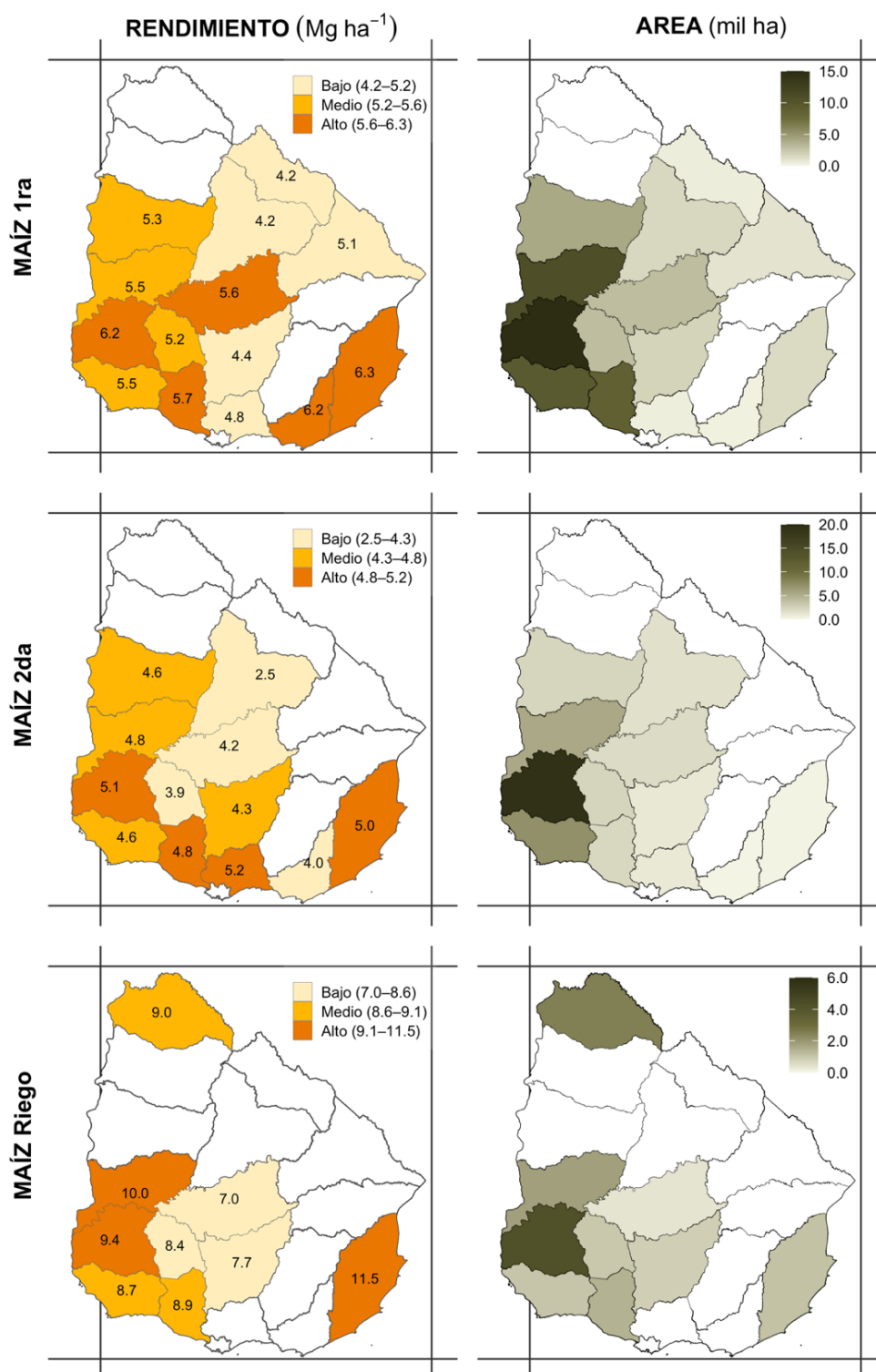
A escala departamental, los mapas de superficie sembrada muestran que el área de maíz se concentra principalmente en el litoral oeste, coincidiendo con las zonas de mayor aptitud agrícola, patrón que se mantuvo similar entre sistemas (Figura 6). En esta

región se registraron los valores de productividad más elevados, destacándose Soriano como el departamento con mejor desempeño en todos los sistemas, con promedios de 6.2 Mg ha⁻¹ en primera y 5.1 Mg ha⁻¹ en segunda. En Colonia, lo valores promediaron 5.5 y 4.6 Mg ha⁻¹, mientras que en Río Negro se registraron 5.5 y 4.8 Mg ha⁻¹ para maíz de primera y de segunda, respectivamente.

El maíz bajo riego mostró un desempeño productivo notablemente superior, con promedios de 9.4, 8.7 y 10.0 Mg ha⁻¹ en Soriano, Colonia y Río Negro, respectivamente, y registros máximos en algunas zafras que superaron los 11.0 Mg ha⁻¹. Además, se destaca la participación del departamento de Artigas, con aproximadamente 2.5 mil ha irrigadas y rendimientos medios cercanos a 9.0 Mg ha⁻¹. Cabe destacar que los valores medios registrados en Rocha también fueron elevados (11.5 Mg ha⁻¹). En conjunto, los rendimientos bajo riego se mantuvieron por encima del tercil superior de los sistemas de secano, reflejando un desempeño productivo significativamente superior.

Figura 6

Distribución espacial del área y rendimiento de maíz por sistema de manejo (promedio 2015-2023)



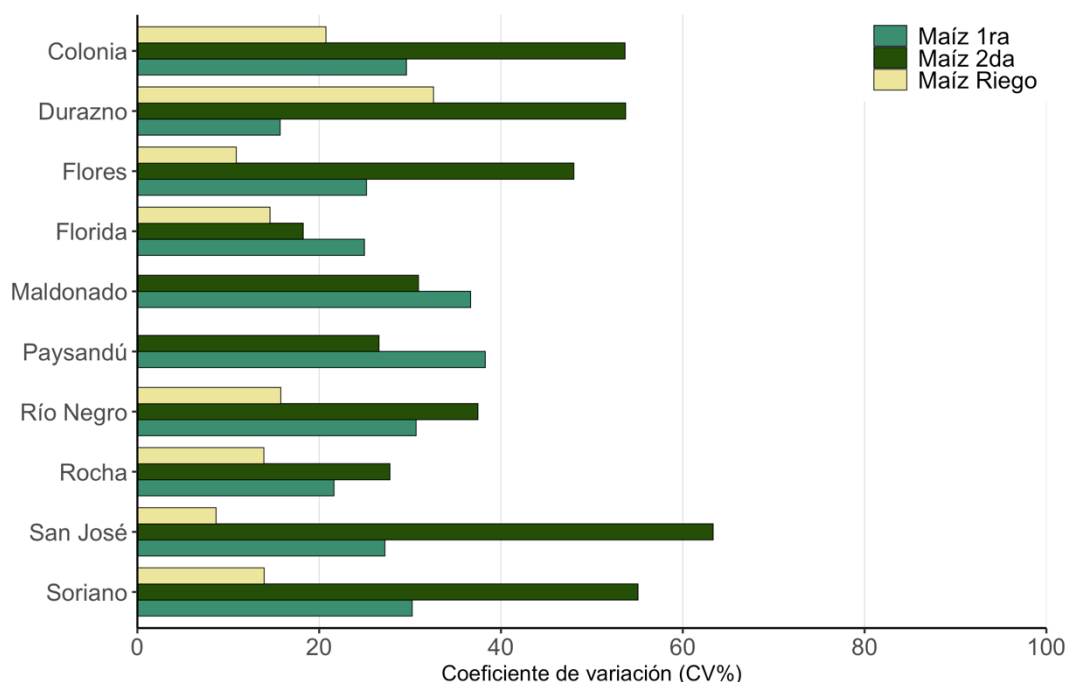
Nota. Mapas elaborados con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA (comunicación personal, 2024).

A nivel nacional, los valores de CV promedio fueron de 28% para maíz de primera, 42% para maíz de segunda y 13% para maíz bajo riego, destacándose una variabilidad particularmente baja en los sistemas irrigados de primera en comparación con los de segunda (CV: 9% *versus* 17%, respectivamente) (Figura 7). El maíz de segunda mostró la menor estabilidad en sus rendimientos, reflejando una mayor sensibilidad interanual a las condiciones climáticas y de manejo. En varios departamentos, la variabilidad superó el 40%. En San José, el CV alcanzó el 63%, asociado a una amplia fluctuación del rendimiento que osciló entre 0.3 Mg ha⁻¹ y 6.6 Mg ha⁻¹. En Soriano fue ligeramente menor, con un CV = 55% (mínimo 1.1 Mg ha⁻¹, máximo 7.3 Mg ha⁻¹), mientras que Colonia registró un CV = 54 %. En todos los casos se dispone de registros completos para el periodo 2015-2023 (n=9), lo que respalda la consistencia de las estimaciones.

Al analizar la relación entre el rendimiento medio y el coeficiente de variación, el maíz de primera mostró una pendiente negativa pero no significativa ($p = 0.39$; $r^2 = 0.06$), indicando que la variabilidad fue estadísticamente independiente del nivel de rendimiento. En contraste, en el maíz de segunda la relación fue negativa y altamente significativa ($p = 0.01$; $r^2 = 0.52$), indicando que los departamentos de mayor rendimiento tienden a presentar menor variabilidad interanual. Para maíz irrigado, la pendiente fue negativa pero no significativa ($p = 0.49$; $r^2 = 0.07$), sin evidencia de una relación entre rendimiento y variabilidad.

Figura 7

Variabilidad temporal del rendimiento de maíz mediante CV% a nivel departamental



Nota. Figura elaborada con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA (comunicación personal, 2024).

4.4 DINÁMICA PRODUCTIVA Y ESTABILIDAD INTERANUAL DE LOS CULTIVOS DE INVIERNO: TRIGO, CEBADA, BRÁSSICAS

Los cultivos de invierno mantuvieron una marcada concentración espacial en el litoral oeste del país, tanto en superficie sembrada como rendimientos medios (Figura 8). En conjunto, estos cultivos representaron alrededor de 500 mil ha del área agrícola nacional, distribuidas principalmente entre trigo (238 mil ha), cebada (167 mil ha) y bráscicas (95 mil ha). Más del 60% del área de cada cultivo se concentra en los departamentos de Soriano, Colonia, Paysandú y Río Negro, confirmando el patrón territorial histórico de la agricultura de Uruguay.

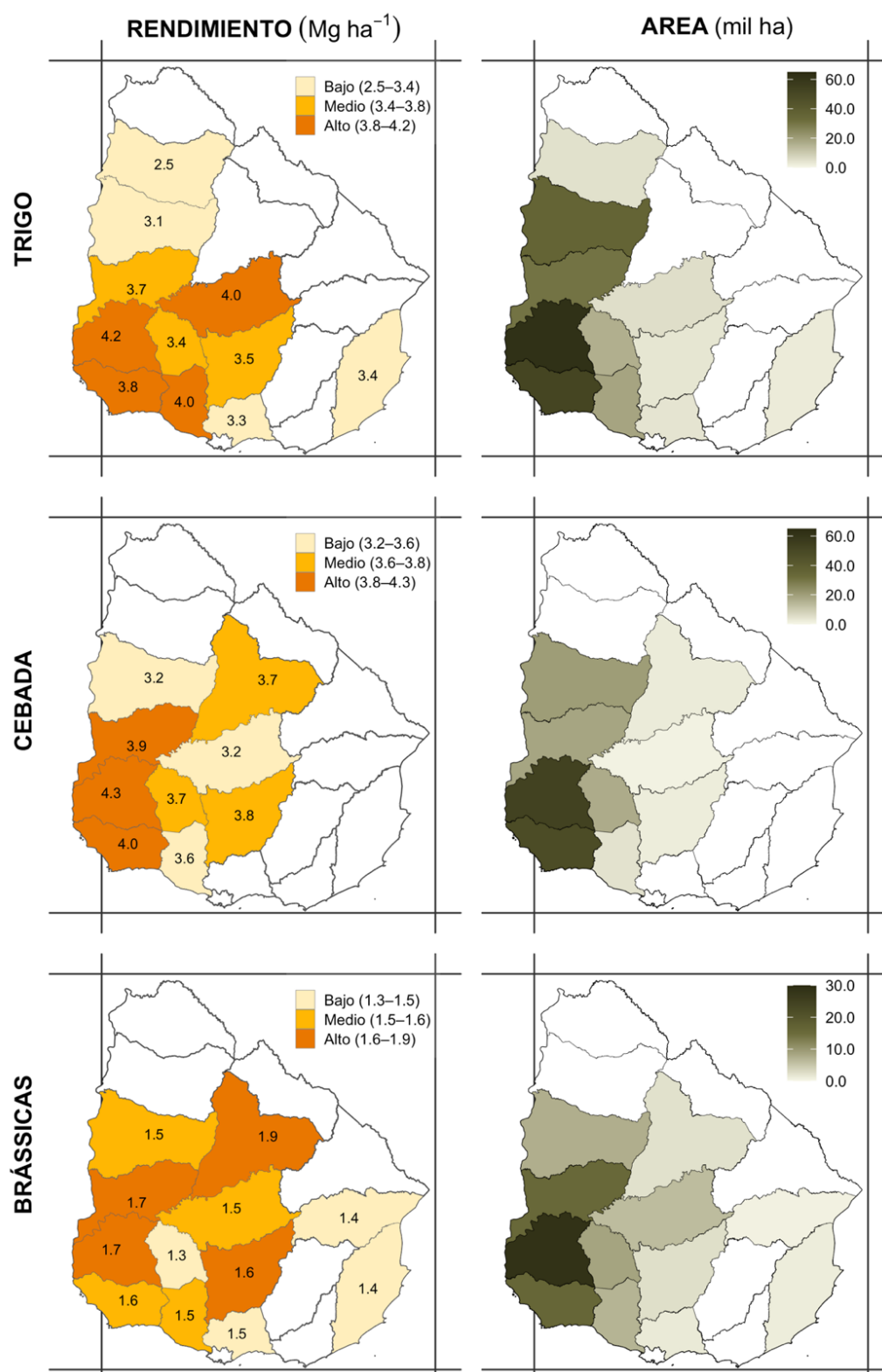
El trigo presentó un rendimiento medio nacional de 3.8 Mg ha⁻¹, con su producción concentrada en Soriano (27%), Colonia (22%), Paysandú (16%) y Río Negro (13%). La amplitud entre terciles (0.4 Mg ha⁻¹) fue moderada, indicando que los rendimientos se mantuvieron relativamente uniformes entre departamentos.

En la cebada, el rendimiento promedio se estimó en 3.9 Mg ha^{-1} , manteniendo una distribución en el territorio similar a la de trigo, aunque con mayor homogeneidad espacial. Cerca del 90% del área de siembra se concentró en cinco departamentos: Soriano, Colonia, Paysandú, Río Negro y Flores. La leve diferencia entre terciles (0.2 Mg ha^{-1}) sugiere una alta consistencia del rendimiento entre los departamentos productores.

Las brásicas, por su parte, mostraron una media de 1.6 Mg ha^{-1} , y una distribución más restringida, limitada principalmente a Soriano (36% del área total), Colonia (17%) y Río Negro (14%). En este cultivo, la amplitud entre terciles fue considerablemente mayor que en las gramíneas, evidenciando una heterogeneidad marcada de los rendimientos. El contraste es claro: mientras los departamentos del litoral oeste concentran los rendimientos más altos, la zona este del país se mantiene sistemáticamente en el tercil inferior.

Figura 8

Distribución espacial del área y rendimiento de cultivos de invierno (promedio 2015-2023)



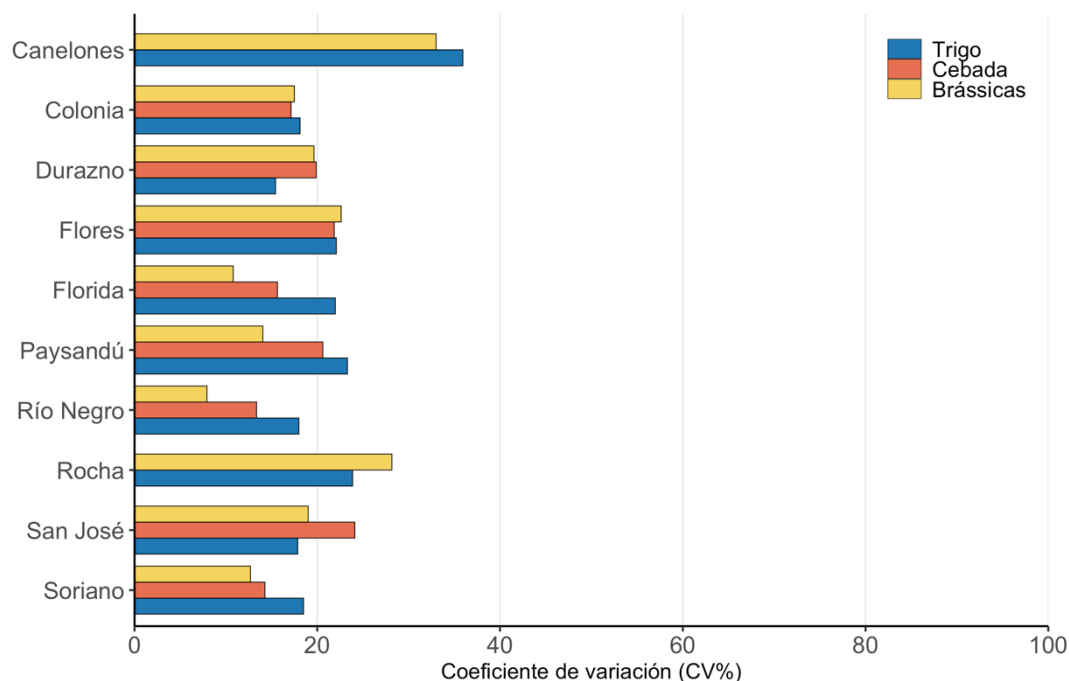
Nota. Mapas elaborados con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA (comunicación personal, 2024).

La estabilidad de los rendimientos en los cultivos de invierno, se analizan en la Figura 9. El CV promedio nacional fue de 22% para trigo, 18% para cebada y 19% para las brásicas, lo que indica una variabilidad temporal moderada a baja y bastante homogénea entre cultivos si los comparamos con los de verano. En general, los tres cultivos mostraron una mayor estabilidad productiva en el litoral oeste, coincidiendo con las zonas de mayor rendimiento promedio. Los valores más altos de CV se registraron en los departamentos de Canelones, y Rocha, donde además no se dispone de información para las brásicas.

Al analizar la relación entre el rendimiento medio y el CV, se observa una tendencia general a que los departamentos más productivos tienden a exhibir menor variabilidad interanual del rendimiento. En trigo, la pendiente fue negativa no significativa ($p = 0.14$), y la dispersión de los datos ($r^2 = 0.23$) impide confirmar una relación estadísticamente significativa. Lo que sugiere que la variabilidad interanual del trigo es moderada y poco dependiente del nivel de rendimiento medio departamental. En Cebada, la relación fue negativa y débilmente significativa ($p = 0.06$; $r^2 = 0.42$), sugiriendo una ligera tendencia a mayor estabilidad en el litoral oeste. Por su parte, las brásicas mostraron la relación más marcada, con una asociación negativa altamente significativa ($p < 0.05$; $r^2 = 0.53$), indicando que los departamentos con rendimientos más altos presentan considerablemente menor variabilidad interanual.

Figura 9

Variabilidad temporal del rendimiento de cultivos de invierno mediante CV% departamental



Nota. Figura elaborada con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA (comunicación personal, 2024).

4.5 EVOLUCIÓN DEL ÁREA CULTIVADA

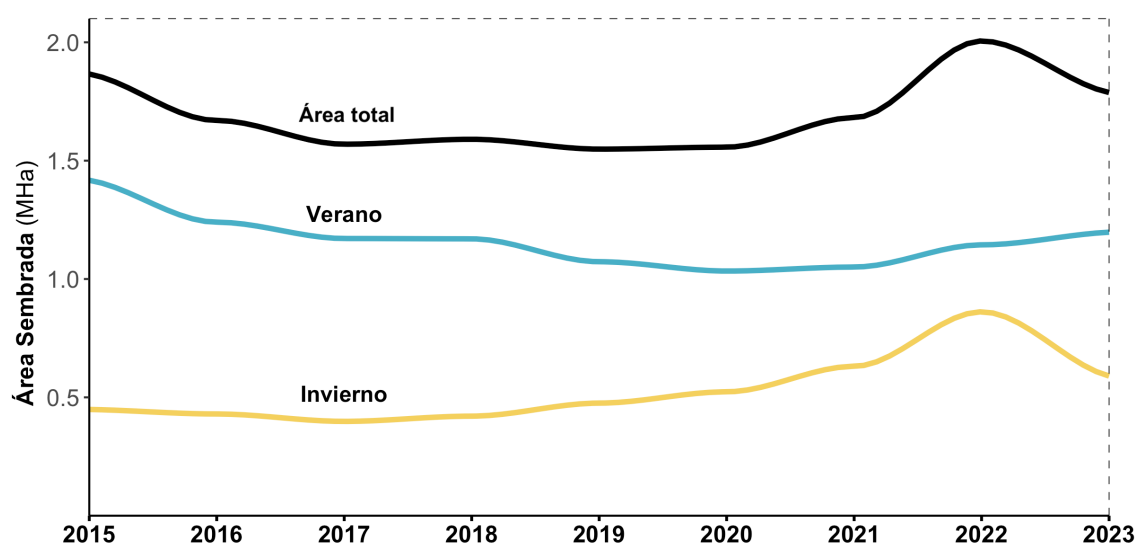
En 2015, la superficie cultivada total alcanzaba 1.8 Mha, registrando su valor máximo en 2022 (2.0 Mha) y un promedio general de 1.70 Mha. El modelo lineal ajustado entre área cultivada y año no evidenció una relación estadísticamente significativa ($p = 0.51$), lo que indica que la superficie agrícola nacional se mantuvo relativamente estable, con fluctuaciones interanuales no lineales a lo largo del periodo analizado (Figura 10). Los cultivos de verano representan, en promedio, alrededor del 70 % del área total, mientras que los cultivos de invierno aportan el 30 % restante.

En el caso de los cultivos de verano se observan dos fases bien diferenciadas. Entre 2015 y 2020, se estimó una tendencia descendente significativa ($p < 0.05$; $r^2 = 0.90$), con una reducción del área de 1.4 Mha a 1.0 Mha. Posteriormente, el área

presentó una recuperación parcial, alcanzando 1.2 Mha en 2023. El promedio del período fue de 1.2 Mha, equivalente a aproximadamente dos tercios del área cultivada total. Con respecto a los cultivos de invierno, estos presentaron una tendencia creciente significativa ($p < 0.05$), con una pendiente de 405 mil ha año⁻¹. La superficie sembrada pasó de 0.5 Mha en 2015 a un máximo de 0.9 Mha en 2022, seguida de una leve retracción en 2023 (0.6 Mha). En promedio del periodo fue de 0.5 Mha.

Figura 10

Evolución temporal del área sembrada total en Uruguay (2015 – 2023)



Nota. Figura elaborada con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA (comunicación personal, 2024).

La Figura 11 muestra la evolución del área sembrada, desagregada por cultivo y, en el caso de los cultivos de verano, diferenciada por régimen hídrico.

La soja continuó siendo el cultivo dominante en la estructura agrícola nacional a lo largo de todo el período analizado. En el análisis general, el modelo lineal ajustado entre el área total cultivada con soja (primera + segunda) y el año, mostró una reducción significativa en la superficie. Al analizar por separado los sistemas de primera y segunda, ambos modelos mostraron comportamientos opuestos y estadísticamente significativos: la soja de primera disminuyó, mientras que la soja de segunda aumentó. El área sembrada con soja de primera presentó una tendencia negativa altamente significativa ($p < 0.05$; $r^2 = 0.87$), con una pendiente de -0.057 Mha año⁻¹, indicando una

contracción sostenida y consistente de su superficie a lo largo del período. En cambio, la soja de segunda mostró una tendencia positiva significativa ($p = 0.04$), con una pendiente de $0.016 \text{ Mha año}^{-1}$, correspondiente a un aumento medio anual de 16 mil hectáreas. En consecuencia, la disminución del área total se explica principalmente por la contracción en la superficie de soja de primera, parcialmente compensada por la expansión del doble cultivo.

En el caso del maíz, se observó una tendencia creciente altamente significativa en el área total sembrada ($p < 0.05$; $r^2 = 0.80$), con una pendiente positiva de 13 mil ha año^{-1} . La superficie se incrementó de 0.083 Mha en 2015 a 0.188 Mha en 2023, duplicando la superficie inicial del período. El maíz de primera se mantuvo estable, con un promedio de 0.06 Mha y sin variaciones significativas a lo largo del tiempo y la pendiente estimada fue de 1.4 mil ha año^{-1} . En consecuencia, su contribución al incremento total del área de maíz fue marginal. El maíz de segunda fue el principal responsable del incremento total del área cultivada con maíz, mostrando una tendencia creciente significativa ($p < 0.05$; $r^2 = 0.63$), y con una pendiente de 9.6 mil ha año^{-1} . La superficie promedio fue de 0.04 Mha, aumentando de 0.03 Mha en 2015 a 0.12 Mha en 2023, lo que representa una expansión de casi cuatro veces respecto al valor inicial. La superficie bajo riego presentó un crecimiento significativo ($p = 0.03$), con una pendiente de 1.57 mil ha año^{-1} aunque con una magnitud considerablemente menor que la observada en el maíz de segunda. El área promedio fue de 13 mil ha equivalente a aproximadamente el 10 del total sembrada, pero con una tendencia ascendente sostenida, que pasó de no tener registros en el 2015 a 15 mil ha en 2023.

El área total destinada a cultivos de invierno evidenció una tendencia creciente significativa ($p = 0.16$; $r^2 = 0.57$), con un incremento medio anual de 40.5 mil hectáreas. Este crecimiento se acompañó de un cambio en la composición del área invernal.

El trigo mantuvo una superficie estable a lo largo del período, no evidenció una relación estadísticamente significativa entre el área sembrada y el año ($p = 0.72$). Sin embargo, en 2015 representaba el 74% del área invernal, proporción que disminuyó al 45% en 2023. El trigo, por tanto, contribuye a sostener la base del área invernal, pero sin explicar el crecimiento total observado en el conjunto de los cultivos de invierno.

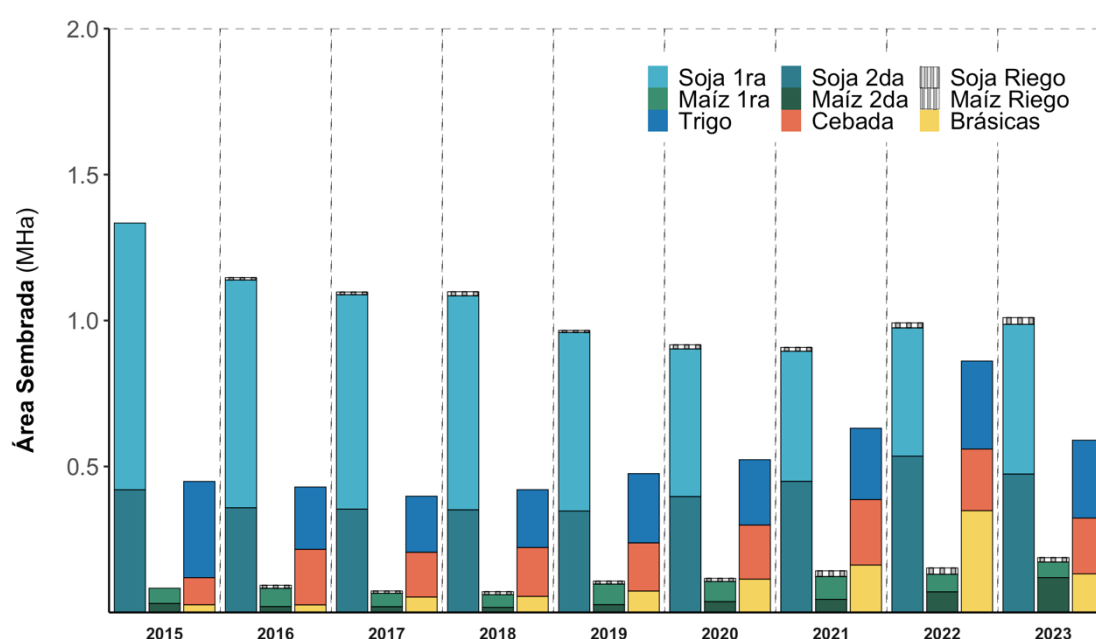
Por el contrario, la cebada desempeñó un papel importante en el crecimiento del área total de cultivos de invierno, mostrando una tendencia creciente significativa ($p < 0.05$; $r^2 = 0.54$) con una pendiente de 10.3 mil ha año^{-1} . Su participación en la superficie

invernal aumentó del 21% en 2015 al 32% en 2023, consolidándose como el segundo cultivo más importante.

Las brásicas, por su parte, mostraron una tendencia creciente significativa ($p < 0.05$; $r^2 = 0.57$) con una pendiente de 27.9 mil ha año⁻¹. Este grupo registró la tasa de expansión más alta entre los cultivos de invierno, creciendo a un ritmo casi tres veces superior al de la cebada. Su participación aumentó del 6% al 22% del área invernal total en el período.

Figura 11

Dinámica interanual del área sembrada por cultivo y sistema de manejo (2015–2023)



Nota. Figura elaborada con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa

Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA

(comunicación personal, 2024).

4.6 ESTUDIO DE LAS TENDENCIAS DE RENDIMIENTO POR CULTIVO

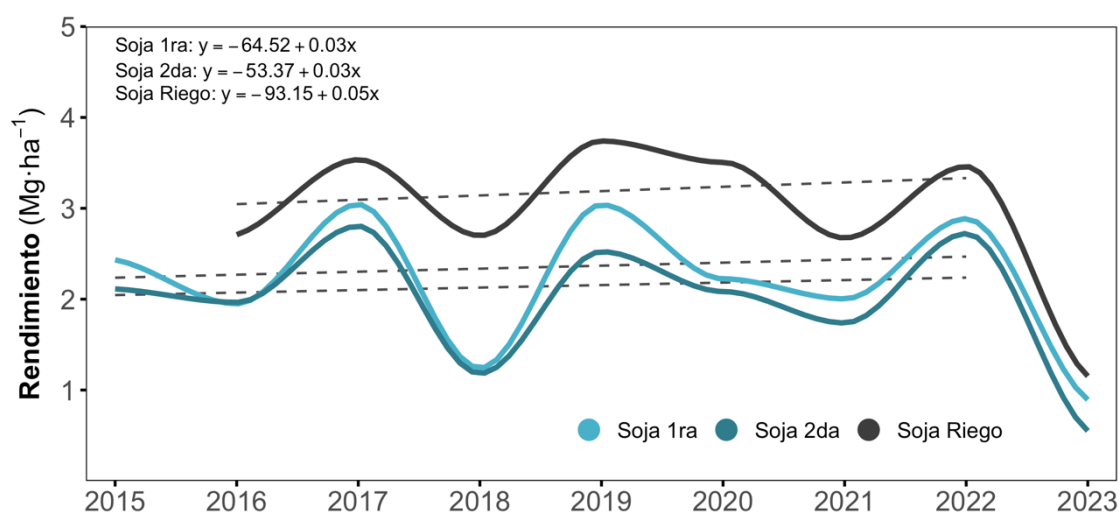
Durante el período, los rendimientos medios nacionales de soja se mantuvieron estables en los tres sistemas evaluados: primera, segunda y bajo riego (Figura 12). Los modelos lineales ajustados (líneas discontinuas) no evidenciaron tendencias temporales estadísticamente significativas ($p > 0.60$), con pendientes de 0.033, 0.028 y 0.048 Mg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente.

El rendimiento medio para el período 2015–2023 fue de 2.2 Mg ha⁻¹ para soja de primera, 2.0 Mg ha⁻¹ para soja de segunda y 2.9 Mg ha⁻¹ bajo riego. Los tres sistemas mostraron fluctuaciones interanuales similares, estrechamente vinculadas a la variabilidad climática. El análisis de la variabilidad temporal (CV%) indicó valores promedio de 32 %, 34 % y 30 %, respectivamente.

En 2023, los rendimientos se redujeron drásticamente en todo el país debido a un evento de sequía extrema, alcanzando valores promedio de 0.9 Mg ha⁻¹ en soja de primera, 0.5 Mg ha⁻¹ en soja de segunda y 1.2 Mg ha⁻¹ bajo riego.

Figura 12

Tendencias de rendimiento para Soja



Nota. Figura elaborada con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA (comunicación personal, 2024).

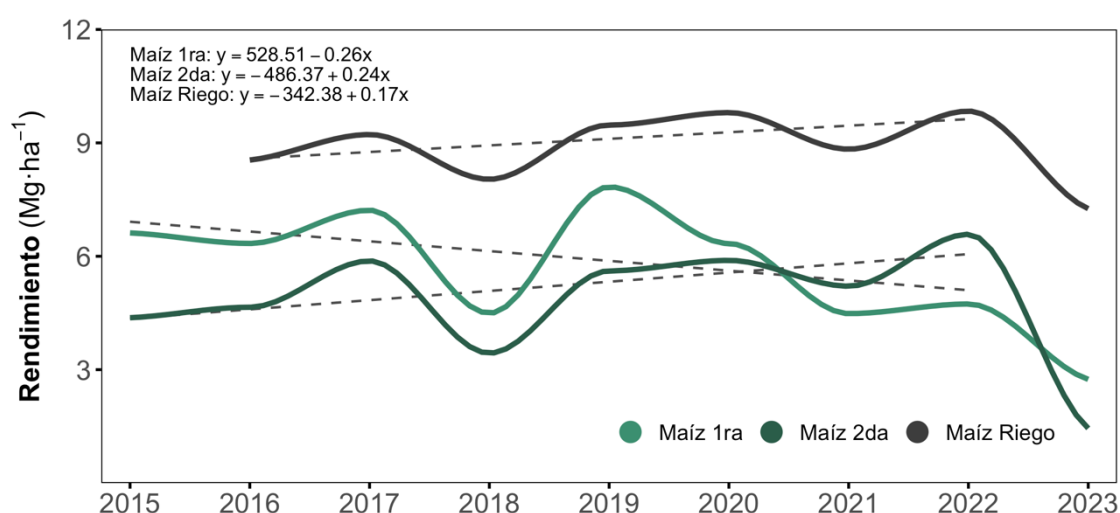
Los rendimientos nacionales de maíz se mantuvieron estables en los tres sistemas de manejo (Figura 13). Los modelos lineales ajustados mostraron dos pendientes positivas (maíz de segunda y maíz irrigado) y una pendiente negativa (maíz de primera), aunque ninguna resultó estadísticamente significativa ($p > 0.10$), lo que sugiere que las variaciones observadas no están asociadas a un cambio lineal sostenido.

La pendiente negativa correspondió al maíz de primera ($-0.26 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), cuyo rendimiento medio fue de 5.7 Mg ha^{-1} en el período. Este sistema mostró oscilaciones marcadas entre años ($\text{CV} = 28\%$), con valores máximos en 2017 y 2019 superando las $7,0 \text{ Mg ha}$. En contraste, el maíz de segunda presentó una pendiente positiva de $0.24 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con un rendimiento promedio de 4.3 Mg ha^{-1} , y una variabilidad más alta ($\text{CV} = 42\%$), evidenciando un incremento leve pero constante a lo largo de la serie. Por su parte, el maíz bajo riego alcanzó los mayores valores de rendimiento (9.2 Mg ha^{-1}), más del doble que los sistemas de secano, junto con la menor variabilidad ($\text{CV} = 16\%$) y una pendiente positiva de $0.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

En 2023, los rendimientos descendieron de manera abrupta debido a condiciones de sequía extrema. Los sistemas de secano alcanzaron sus valores más bajos de toda la serie (2.7 Mg ha^{-1} en maíz de primera y 1.5 Mg ha^{-1} en maíz de segunda), lo que representa reducciones del 54% y 66% respecto al promedio del período 2015–2022, respectivamente. Mientras que el maíz irrigado registró 7.3 Mg ha^{-1} , equivalente a una reducción del 21%, manteniendo valores estables a los de secano incluso bajo un evento climático severo.

Figura 13

Tendencias de rendimiento para Maíz



Nota. Figura elaborada con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA (comunicación personal, 2024).

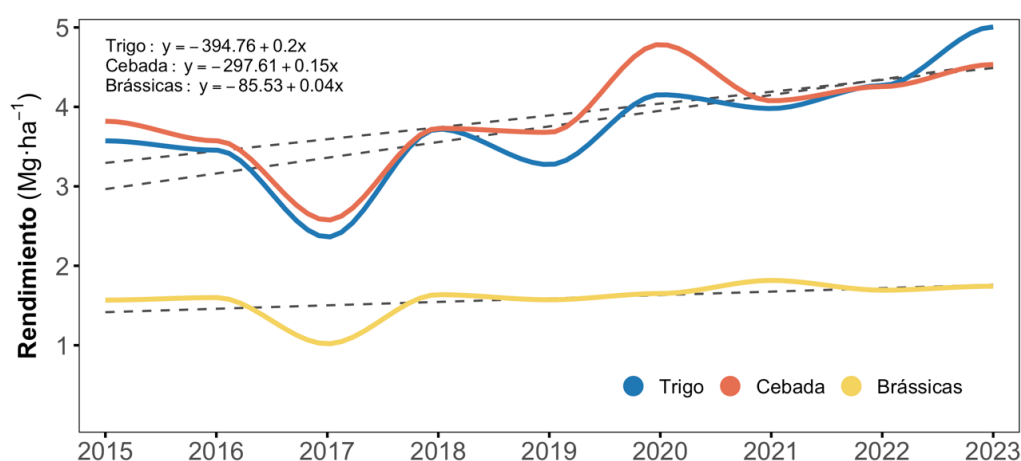
En los cultivos de invierno, tanto las regresiones lineales como las líneas de tendencia reflejan la similitud de la evolución temporal del rendimiento de trigo y cebada (Figura 14). El trigo presentó una tendencia creciente estadísticamente significativa (pendiente = $0.20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; $p < 0.05$), con un rendimiento promedio de 3.8 Mg ha^{-1} y una variabilidad moderada ($\text{CV} = 22\%$). A partir de 2020, el cultivo mostró un incremento sostenido, alcanzando sus máximos valores en 2022 y 2023, con un rendimiento de 4.3 y 5.0 Mg ha^{-1} respectivamente.

En cebada, el modelo lineal arrojó una pendiente positiva ($0.15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) con un nivel de significancia marginal ($p = 0.07$), lo que sugiere una tendencia creciente moderada. Este cultivo registró los mayores rendimientos promedios de la fase de invierno (3.9 Mg ha^{-1}) y la menor variabilidad interanual ($\text{CV} = 18\%$), con valores máximos de 4.8 Mg ha^{-1} en 2020 y 4.5 Mg ha^{-1} en 2023.

Por su parte, las brásicas mantuvieron rendimientos estables a lo largo del período, sin evidenciar una tendencia significativa (pendiente ≈ 0 ; $p = 0.16$). Su rendimiento promedio fue de 1.6 Mg ha^{-1} , con una variabilidad moderada ($\text{CV} = 19\%$), reflejando un comportamiento consistente entre años.

Figura 14

Tendencias de rendimiento para cultivos de invierno



Nota. Figura elaborada con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA (comunicación personal, 2024).

5. DISCUSIÓN

Las estimaciones derivadas de las encuestas DIEA muestran una concordancia casi perfecta con las fuentes nacionales e internacionales ($r^2 \approx 1$, $p < 0.05$), y mantienen ajustes elevados a escala departamental ($r^2 > 0.90$ en todos los cultivos). Asimismo, se confirma que la metodología aplicada en este trabajo, desde la armonización de variables hasta el cálculo ponderado de superficies y rendimientos, se alinea con los principios de transparencia, reproducibilidad y consistencia que demandan los estándares internacionales para datos agrícolas como los de Global Yield Gap Atlas (s.f.). La principal contribución de estas estimaciones no reside solo en su precisión, sino en el aporte que representan para la investigación del país. Hasta el momento, había escasa información pública de rendimientos y superficies con resolución subnacional. Este trabajo proporciona mapas y una base de datos de rendimiento y área cosechada por departamento para el período 2015 al 2023.

Las desviaciones observadas entre fuentes, en particular la sobrestimación del 10–16% reportada por URUPOV para la superficie de soja a nivel nacional y subnacional, no cuestionan la robustez de las estimaciones; por el contrario, revelan las diferencias metodológicas propias entre sistemas basados en encuestas y aquellos sustentados en teledetección. URUPOV señala que su propio sistema presenta un predominio de errores de omisión (84%), correspondientes a chacras de soja no teledetectadas, y un menor porcentaje de errores de comisión (16%), donde chacras correspondientes a otros cultivos fueron clasificadas como soja (URUPOV, 2025).

Si bien el área cultivada total mostró cierta estabilidad a lo largo del período de estudio, esa estabilidad enmascara transformaciones en la composición interna de los sistemas productivos. Se revirtió la dominancia del cultivo de soja de primera y se intensificó el uso de la tierra mediante la siembra de más de un cultivo por año en la misma superficie. La soja de segunda y, especialmente, el maíz de segunda, cuya superficie se multiplicó, incrementaron su participación en el sistema. Esta reorganización interna no responde únicamente a decisiones técnicas, sino también a factores económicos y regulatorios que condicionaron la expansión agrícola. Arbeletche y Pintos (2023) explican que existe una fuerte relación entre el incremento del área de soja y el precio. Es por eso, que en el periodo 2020/21 ocurre un nuevo aumento del área de soja, pero más atenuado que en períodos anteriores, en parte a las reglamentaciones en el uso del suelo que limitan la utilización de ciertas combinaciones

de cultivos en suelos de aptitud media, y también al cambio de actores, donde empresas importantes del sector, redujeron área y cambiaron de estrategia, pasando de la especialización en agricultura a sistemas más diversificados incluyendo ganadería.

El área regada se incrementó de forma sostenida durante el período analizado, lo que podría estar asociado a la presencia de incentivos que favorecen la inversión en riego. En particular, a partir de 2020, la implementación del régimen de promoción de inversiones establecido por el Decreto n° 268/020 (2020) coincide temporalmente con este incremento, al mejorar los beneficios fiscales asociados a proyectos productivos presentados ante la Comisión de Aplicación de la Ley de Inversiones (COMAP), podría haber facilitado la recuperación de una parte significativa de la inversión por parte de las empresas contribuyentes del Impuesto a la Renta de las Actividades Económicas (IRAE) en un largo plazo.

Un comportamiento similar se observa en la fase invernal. El área total de invierno aumenta, aunque el trigo se mantuvo estable; el crecimiento de la cebada fue significativo; y la expansión más marcada se registró en la colza, impulsada por los altos precios de comercialización, su buena compatibilidad con esquemas de doble cultivo y la fuerte demanda generada por ALUR y UPM que promovieron su siembra mediante contratos. En conjunto, hizo que estos cultivos se incrementaran en forma muy importante en los sistemas (Arbeletche & Pintos, 2023).

Según plantea Ernst et al. (2020), el aumento de la intensidad agrícola y la promoción del doble cultivo podrían afectar negativamente los rendimientos de los cultivos de verano. Sin embargo, como menciona el autor los promedios nacionales continuaron en ascenso en trigo, cebada, maíz y canola, mientras que en soja se mantuvieron estables, sin evidenciar impactos negativos asociados al aumento de la intensidad. La variabilidad observada responde principalmente a las condiciones climáticas de cada zafra y al cambio tecnológico, que tiende a enmascarar otros factores estructurales del sistema.

La marcada superioridad del litoral oeste en términos de rendimiento y estabilidad interanual confirma lo planteado en la hipótesis: la agricultura se consolida en Soriano, Colonia y Rio Negro, lo cual se asocia con la mayor aptitud de sus suelos, con mayor profundidad y capacidad de almacenaje de agua, y otros factores que en este trabajo

no se pueden determinar. Hacia el norte y noreste del país, la expansión se produjo sobre suelos de menor aptitud agrícola, aumentando la sensibilidad del rendimiento frente a las fluctuaciones del clima como la ocurrencia de estrés hídrico. A esto se suma una heterogeneidad mayor en la adopción tecnológica y en las prácticas de manejo. En conjunto, como desarrolla Rizzo (2018) la variabilidad de los rendimientos surge principalmente de la interacción entre el tipo de suelo, las diferencias entre zonas climáticas que abarcan varios departamentos y las condiciones particulares de cada año. Este conjunto de factores define el rendimiento potencial de cada cultivo para una determinada región y, en consecuencia, condiciona de manera directa los rendimientos actuales observados.

En la zafra 2022/23, donde se registró un déficit hídrico importante, los rendimientos estimados para los cultivos de verano se pueden definir como históricamente bajos según las series de datos estadísticos de la DIEA. Todos los cultivos fueron afectados y mayor aún en las siembras de segunda (DIEA, 2023a).

Los resultados de este trabajo generan una base subnacional consistente, y metodológicamente trazable, para estimar el rendimiento actual (Y_a) con el nivel de resolución requerido que permite avanzar hacia la aplicación formal del protocolo del Global Yield Gap Atlas (s.f.).

Este trabajo presenta algunas limitaciones que deben reconocerse al interpretar su alcance. En primer lugar, algunos departamentos cuentan con un número reducido de observaciones, lo que puede introducir mayor incertidumbre en las estimaciones locales. El uso de información proveniente de DIEA implica una limitación metodológica. Las estimaciones no se basan en un relevamiento exhaustivo de todos los productores, sino en datos muestrales que se expanden a nivel nacional mediante un factor de expansión. Dicho factor es construido por DIEA a partir del último censo agropecuario disponible, que en este trabajo corresponde al censo de 2011 y, por lo tanto, se encuentra desactualizado. A ello se suman los supuestos, mencionados en el capítulo 3, que se adoptaron para este trabajo. Por último, la serie temporal disponible (nueve años), si bien fue suficiente para caracterizar tendencias generales, resulta insuficiente para amortiguar el impacto de eventos extremos, como la sequía severa de 2023. Una serie más extensa permitiría reducir el ruido interanual y obtener estimaciones más robustas del rendimiento realizado en condiciones promedio.

6. CONCLUSIONES

Los resultados generados en este trabajo logran transformar una base de datos extensa, heterogénea y poco estandarizada en un insumo robusto y reproducible. La validación cruzada con fuentes oficiales e internacionales mostró ajustes prácticamente perfectos, lo que respalda la consistencia metodológica y la confiabilidad de las estimaciones. Por primera vez se dispone de mapas de rendimiento y superficie agrícola con resolución subnacional basados exclusivamente en datos públicos, un avance sustancial que implica un punto de partida para avanzar en la cuantificación de brechas de rendimiento y evaluar con mayor precisión el potencial productivo del Uruguay.

Los resultados muestran que, pese a las fluctuaciones interanuales, el área agrícola nacional se mantuvo relativamente estable durante la última década. Sin embargo, esta estabilidad encubre cambios profundos en la estructura productiva: una diversificación creciente en las especies que integran las rotaciones y un aumento sostenido del doble cultivo. El maíz de segunda impulsó gran parte del crecimiento del área de maíz, mientras que los cultivos de verano bajo riego continúan expandiéndose, consolidándose como una alternativa capaz de sostener rendimientos altos y estables incluso en años climáticamente complejos. En la fase invernal, la expansión de las brassicas, acompañada por la cebada, explica la mayor parte del incremento del área sembrada.

La combinación de rendimientos elevados y menor variabilidad interanual en el litoral oeste se afirma como un núcleo productivo. A la vez, la mayor variabilidad observada en el norte y noreste evidencia la necesidad de manejos diferenciados en regiones de menor aptitud, donde el riesgo productivo es más elevado.

Desde una perspectiva de la sustentabilidad, el aumento de rotaciones diversificadas y la incorporación de otros cultivos no tradicionales fortalecen la estabilidad estructural del sistema, mejoran la cobertura del suelo y avanzan hacia esquemas más eficientes. Estos cambios contribuyen a promover ambientes más resilientes frente a la variabilidad climática y a sostener servicios ecosistémicos difíciles de cuantificar pero fundamentales para la productividad a largo plazo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Arbeletche, P. (2020). El agronegocio en Uruguay: Su evolución y estrategias cambiantes en el siglo XXI. *RIVAR*, 7(19), 109-129.
<https://doi.org/10.35588/rivar.v7i19.4355>
- Arbeletche, P., Ernst, O., & Hoffman, E. (2010). La Agricultura en Uruguay y su Evolución. En F. García Préchac, O. Ernst, P. Arbeletche, M. Pérez Bidegain, C. Pritsch, A. Ferenczi, & M. Rivas (Eds.), *Intensificación Agrícola: Oportunidades y amenazas para un país productivo y natural* (pp. 13-28). Universidad de la República; CSIC.
- Arbeletche, P., & Pintos, M. (2023). Dinámica del agronegocio agrícola en Uruguay: Desde la concentración productiva hacia la desconcentración. *Gestión I+D*, 8(1), 108-135.
- Asociación Civil Uruguay para la Protección de los Obtentores Vegetales. (2024). *Teledetección y caracterización del cultivo de soja en Uruguay 2024*.
https://www.urupov.org.uy/wp-content/uploads/2024/07/URUPOV_Informe-Soja_Teledeteccion-Characterizacion-23-24.pdf
- Asociación Civil Uruguay para la Protección de los Obtentores Vegetales. (2025). *Teledetección y caracterización del cultivo de soja en Uruguay 2025*.
<https://www.urupov.org.uy/wp-content/uploads/2025/06/URUPOV-Informe-teledeteccion--SOJA-2025.pdf>
- Contatore, A., & Ernst, O. (2024). Valorando la rotación y la diversidad de cultivos en producto y resultado económico. *Cangüé*, (47), 15-21.
- Decreto n° 268/020: *Reglamentacion de los arts. 11 a 19 de la ley 16.906: Ley de inversiones y promocion industrial*. (2020). IMPO.
<https://www.impo.com.uy/bases/decretos/268-2020>
- Ernst, O., Kemanián, A., & Dogliotti, S. (2020). Costos ocultos de la intensificación agrícola. *Cangüé*, (43), 18-24.
- Evans, L. T., & Fischer, R. A. (1999). Yield potential: Its definition, measurement, and significance. *Crop Science*, 39(6), 1544-1551.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961544x>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *FAOSTAT: Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Global Administrative Areas. (s.f.). *GADM data*. <https://gadm.org/data.html>

Global Yield Gap Atlas. (s.f.). *Methods used in the Global Yield Gap Atlas*.

<https://www.yieldgap.org/methods-overview>

Grassini, P., Van Bussel, L. G. J., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., De Groot, H., Van Ittersum, M. K., & Cassman, K. G. (2015). How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crops Research*, 177, 49-63.

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.004>

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2015). *Encuesta agrícola invierno 2015*.

MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/encuesta_agricola_invierno_2015.pdf

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2016a). *Encuesta agrícola invierno 2016*.

MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/encuesta_agricola_invierno_2016.pdf

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2016b). *Encuesta agrícola primavera 2015*.

MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/encuesta_agricola_primavera_2015.pdf

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2017a). *Encuesta agrícola invierno 2017*.

MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/enc_agricola_inv2017.pdf

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2017b). *Encuesta agrícola primavera 2016*.

MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/publicacion_primavera2016.pdf

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2018a). *Encuesta agrícola invierno 2018*.

MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/publicacion_inv2018-cf.pdf

- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2018b). *Encuesta agrícola primavera 2017*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/publicacion_primavera2017.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2019a). *Anuario estadístico Agropecuario 2019*. MGAP.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2019b). *Encuesta agrícola invierno 2019*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/publicacion_inv2019_0.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2019c). *Encuesta agrícola primavera 2018*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/enc_agrprima18.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2020a). *Encuesta agrícola invierno 2020*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-08/PUBLICACION_INV2020.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2020b). *Encuesta agrícola primavera 2019*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/Publicación_agr_primav2019.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2021a). *Encuesta agrícola invierno 2021*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2021-10/PUBLICACION_INV_2021.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2021b). *Encuesta agrícola primavera 2020*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2021-04/Publicación_agr_primav2020.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022a). *Encuesta agrícola primavera 2021*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2022-02/Publicación_agr_primav2021vf.pdf

- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022b). *Resultados de la encuesta agrícola invierno 2022*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/comunicado_prensa_inv_2022.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023a). *Encuesta agrícola invierno 2023*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2023-10/Publicación%20Encuesta%20agricola%202023.pdf>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023b). *Resultados de la encuesta agrícola primavera 2022*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/Comunicado_%20Agr_Prim_%202022_V01.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2024a). *Anuario estadístico agropecuario 2024*. MGAP.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2024b). *Resultados de la encuesta agrícola primavera 2023*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/Comunicado_%20Agr_Prim_%202023_.pdf
- Rizzo, G. (2018). *Estimación y análisis espaciotemporal del rendimiento y las brechas de rendimiento de soja en Uruguay* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.
- Trendov, N. M., Varas, S., & Zeng, M. (2019). *Digital technologies in agriculture and rural areas*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/885161de-dccf-4589-8376-07fe37b68799/content>
- Uruguay XXI. (2024). *Sector agrícola en Uruguay*. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/centro-informacion/articulo/informe-agricola-2024/>
- Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance: A review. *Field Crops Research*, 143, 4-17. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>

8. ANEXO

Tabla A1

Ejemplo de cuadro de la encuesta agrícola 2022/23 para cultivos de verano

1. Cultivos de verano para grano seco (Cosecha 2022/23)										
Cultivo	Superficie Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Prod. y/o Rend. cosechado (Can)	Prod. y/o Rend. cosechado (un)	Sup. Por cosechar (ha)	Producción y/o Rend. por cosechar (Can)	Producción y/o Rend. por cosechar (un)	Sup. Resembra (ha)	Sup. Perdida (ha)	Destino de sup. Perdida (ha)
Soja 1ª										
Soja 1ª c/riego										
Soja 2ª										
Soja 2ª c/riego										
Maíz 1ª										
Maíz 1º c/riego										
Maíz 2ª										
Maíz 2º c/riego										
Sorgo 1ª										
Sorgo 1ª c/riego										
Sorgo 2ª										
Sorgo 2ª c/riego										
Girasol 1ª										
Girasol 1ª c/riego										
Girasol 2ª										
Girasol 2ª c/riego										

Nota. Tomado de la Oficina de Estadísticas Agropecuarias (DIEA, 2024b).

Figura A1

Captura del script 05 utilizado para estimar el rendimiento nacional y departamental

```
# National level ----
# estimate expanded sown area
df[, exp_sown.area := round(sown.area * expansor, 0)]

# estimate expanded harvested area
df[, exp_harv.area := round(harv.area * expansor, 0)]

# estimate expanded exp harvested area
df[, exp_harv.exp.area := round(harv.exp.area * expansor, 0)]

# estimate total expanded harvested area
df[, exp_total_harv.area := round(exp_harv.area + exp_harv.exp.area, 0)]

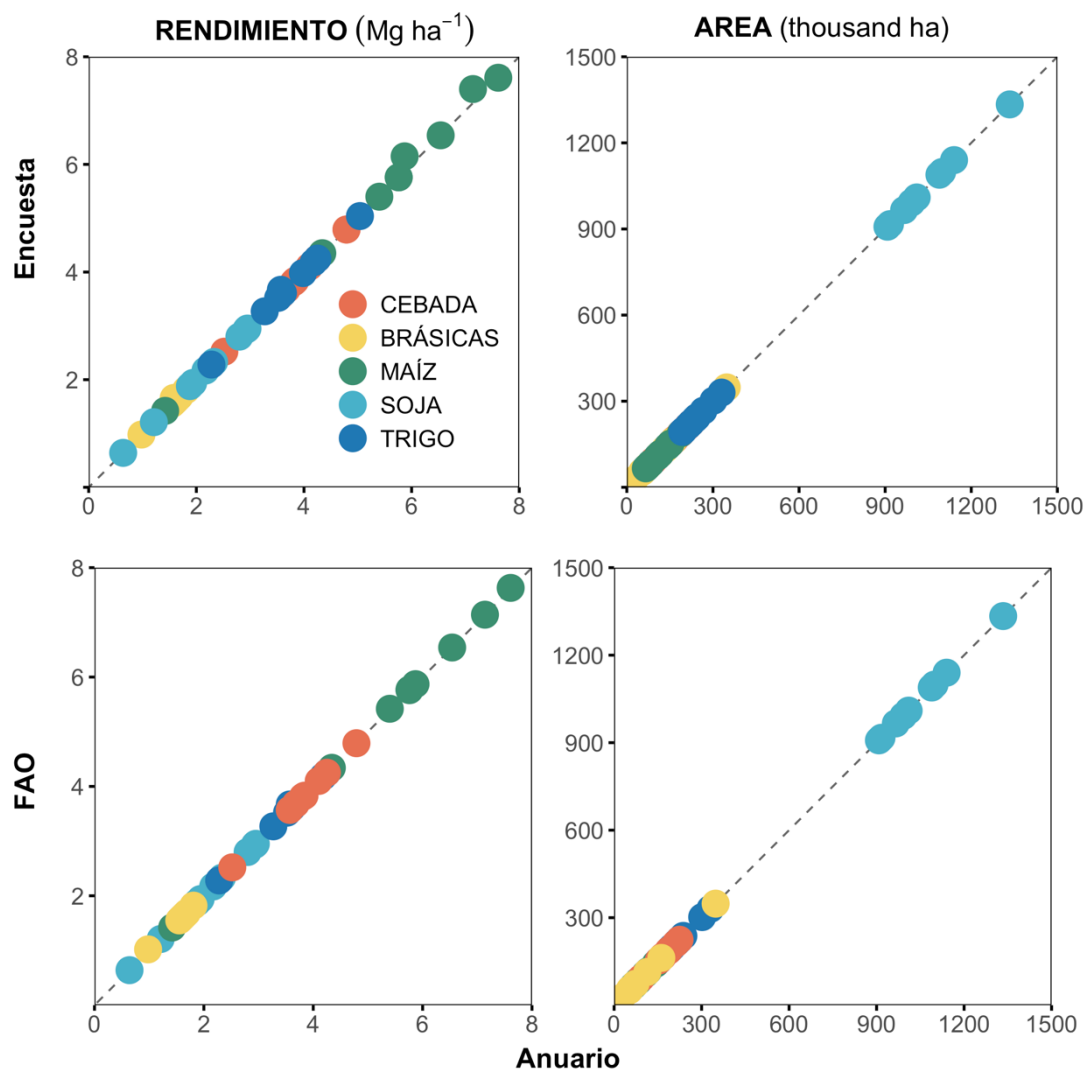
# estimations at national level
national_summary <- df[, .(
  sown.area = sum(exp_sown.area),
  harv.area = sum(exp_total_harv.area),
  prop_harv_area = round(sum(exp_total_harv.area) / sum(exp_sown.area) * 100, 1),
  lost.area = sum(exp_sown.area) - sum(exp_total_harv.area),
  harvested_yield = sum(yield * (exp_sown.area / sum(exp_sown.area))),
  expected_yield = sum(harv.exp.yield * (exp_harv.exp.area / sum(exp_harv.exp.area, na.rm = TRUE))),
  na.rm = TRUE),
  h_area = sum(exp_sown.area) / (sum(exp_sown.area) + sum(exp_harv.exp.area, na.rm = TRUE)),
  hp_area = sum(exp_harv.exp.area, na.rm = TRUE) / (sum(exp_sown.area) + sum(exp_harv.exp.area, na.rm = TRUE)),
  by = .(crop, year, water_regimen, season)
)[, yield := round(harvested_yield * h_area + expected_yield * hp_area)
][order(crop, year, water_regimen, season)]

# Department level ----
# make the estimates at department level
departmental_summary <- df[, .(
  sown.area = sum(exp_sown.area),
  harv.area = sum(exp_total_harv.area),
  harvested_yield = sum(yield * (exp_sown.area / sum(exp_sown.area))),
  expected_yield = sum(harv.exp.yield * (exp_harv.exp.area / sum(exp_harv.exp.area,
    na.rm = TRUE))),
  na.rm = TRUE),
  h_area = sum(exp_sown.area) / (sum(exp_sown.area) + sum(exp_harv.exp.area, na.rm = TRUE)),
  hp_area = sum(exp_harv.exp.area, na.rm = TRUE) / (sum(exp_sown.area) + sum(exp_harv.exp.area, na.rm = TRUE)),
  by = .(year, crop, dpto_cod, water_regimen, season)
)[, yield := round(sum(harvested_yield * h_area, expected_yield * hp_area, na.rm = TRUE), 0),
  by = .(year, crop, dpto_cod, water_regimen, season)
][order(year, crop, dpto_cod, water_regimen, season)]
```

Figura A2

Comparación del Anuario Estadístico agropecuario con otras fuentes oficiales

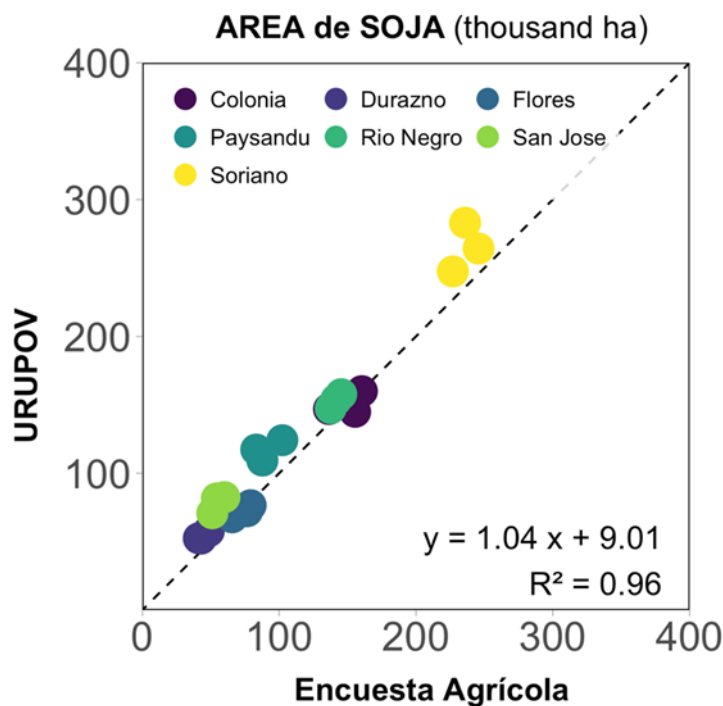
(Encuesta Agrícola y FAO)



Nota. Figuras elaboradas con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de DIEA (2015, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b, 2020a, 2020b, 2021a, 2021b, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024a, 2024b) y Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2025).

Figura A3

Comparación de las estimaciones de área sembrada de soja de URUPOV a nivel departamental con Encuesta Agrícola



Nota. Mapa elaborado con el software RStudio versión 2024.12.0+467 (Kousa Dogwood) utilizando R versión 4.4.2 (2024-10-31). Datos tomados de Asociación Uruguay para la Protección de los Obtentores Vegetales (URUPOV, 2025) y DIEA (2015, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b, 2020a, 2020b, 2021a, 2021b, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024b).

BIBLIOGRAFÍA DE ANEXO

Asociación Civil Uruguay para la Protección de los Obtentores Vegetales. (2025).

Teledetección y caracterización del cultivo de soja en Uruguay.

<https://www.urupov.org.uy/wp-content/uploads/2025/06/URUPOV-Informe-teledeteccion--SOJA-2025.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *FAOSTAT: Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2015). *Encuesta agrícola Invierno 2015*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/encuesta_agricola_invierno_2015.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2016a). *Encuesta agrícola Invierno 2016*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/encuesta_agricola_invierno_2016.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2016b). *Encuesta agrícola Primavera 2015*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/encuesta_agricola_primavera_2015.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2017a). *Encuesta agrícola Invierno 2017*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/enc_agricola_inv2017.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2017b). *Encuesta agrícola Primavera 2016*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/publicacion_primavera2016.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2018a). *Encuesta agrícola Invierno 2018*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/publicacion_inv2018-cf.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2018b). *Encuesta agrícola Primavera 2017*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/publicacion_primavera2017.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2019a). *Encuesta agrícola Invierno 2019*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/publicacion_inv2019_0.pdf

- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2019b). *Encuesta agrícola Primavera 2018*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/enc_agrprima18.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2020a). *Encuesta agrícola Invierno 2020*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-08/PUBLICACION_INV2020.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2020b). *Encuesta agrícola Primavera 2019*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/Publicación_agr_primav2019.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2021a). *Encuesta agrícola Invierno 2021*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2021-10/PUBLICACION_INV_2021.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2021b). *Encuesta agrícola Primavera 2020*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2021-04/Publicación_agr_primav2020.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022a). *Encuesta agrícola Primavera 2021*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2022-02/Publicación_agr_primav2021vf.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022b). *Resultados de la Encuesta Agrícola “Invierno 2022”*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/comunicado_prensa_inv_2022.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023a). *Encuesta agrícola Invierno 2023*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2023-10/Publicación%20Encuesta%20agricola%202023.pdf>

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023b). *Resultados de la Encuesta Agrícola Primavera 2022*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/Comunicado_%20Agr_Prim_%202022_V01.pdf

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2024a). *Anuario estadístico agropecuario 2024*. MGAP.

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2024b). *Resultados de la Encuesta Agrícola Primavera 2023*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/Comunicado_%20Agr_Prim_%202023_.pdf