

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ANÁLISIS DE LA TRAYECTORIA DE LOS SISTEMAS DE CULTIVOS  
IMPLEMENTADOS EN LA REGIÓN AGRÍCOLA DE URUGUAY A PARTIR DE  
REGISTROS DE PRODUCTORES**

**por**

**Diego BACCINO COSTA  
Flavio VIERA ACOSTA  
Franco MURIÑIGO STRAUB**

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

**PAYSANDÚ  
URUGUAY  
2024**

**PÁGINA DE APROBACIÓN**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

\_\_\_\_\_  
Oswaldo Ernst

Tribunal:

\_\_\_\_\_  
Oswaldo Ernst

\_\_\_\_\_  
Santiago Álvarez

\_\_\_\_\_  
Sebastián Mazzilli

Fecha:

26 de julio de 2024

Estudiante:

\_\_\_\_\_  
Diego Martin Baccino Costa

\_\_\_\_\_  
Flavio Gualberto Viera Acosta

\_\_\_\_\_  
Franco Muriñigo Straub

## **AGRADECIMIENTOS**

A todas las personas que han pasado por nuestra vida, sin ellas no habiéramos logrado esto.

## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| PÁGINA DE APROBACIÓN  | 2  |
| AGRADECIMIENTOS   | 3  |
| LISTA DE TABLAS Y FIGURAS   | 6  |
| RESUMEN   | 8  |
| SUMMARY   | 9  |
| 1. INTRODUCCIÓN   | 10 |
| 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA   | 11 |
| 2.1 CAMBIOS EN EL SECTOR  | 11 |
| 2.2 IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE CULTIVOS (SC)                            | 11 |
| 2.3 CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE CULTIVOS   | 13 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS   | 15 |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDIO   | 15 |
| 3.2 ESTRATEGIA DE TRABAJO   | 15 |
| 3.3 DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN   | 15 |
| 3.4 CONSTRUCCIÓN DE VARIABLES PARA CARACTERIZAR LOS SISTEMAS DE CULTIVOS                    | 16 |
| 3.5 SELECCIÓN DE VARIABLES DE USO DEL SUELO Y DE BIODIVERSIDAD                              | 20 |
| 3.6 IDENTIFICACIÓN DE GRUPOS SISTEMAS DE CULTIVOS EN BASE A INDICADORES DE USO DE SUELO     | 21 |
| 3.7 CARACTERIZACIÓN DE GRUPOS DE SISTEMAS DE CULTIVOS EN BASE A INDICADORES DE USO DE SUELO | 21 |
| 3.8 TRAYECTORIA DE LOS SISTEMAS DE CULTIVOS   | 21 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN   | 23 |
| 4.1 DESCRIPCIÓN DEL USO DE SUELO POR PERIODO  | 23 |
| 4.1.1 Indicadores descriptivos  | 23 |
| 4.1.2 Indicadores de biodiversidad  | 24 |
| 4.2 GRUPOS DE SISTEMAS DE CULTIVOS  | 26 |
| 4.2.1 Selección de indicadores de uso de suelo para agrupar sistemas de cultivos            | 26 |
| 4.2.2 Identificación de grupos de sistemas de cultivos                                      | 28 |
| 4.3 TRAYECTORIA DE LOS GRUPOS Y DE LOS SISTEMAS DE CULTIVOS                                 | 36 |
| 4.3.1 Trayectoria de los grupos   | 36 |
| 4.3.2 Trayectoria de los sistemas de cultivos y sus componentes                             | 36 |

|  |    |
|--|----|
| 4.3.3 Evolución de los principales indicadores de uso del suelo a nivel predial y sus implicancias | 39 |
| 5. CONCLUSIONES  | 43 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA  | 44 |
| 7. ANEXOS  | 51 |

**LISTA DE TABLAS Y FIGURAS**

| Tabla No   | Página |
|--|--------|
| 1. Resumen de la información utilizada en el trabajo   | 16     |
| 2. Variables de uso de suelo de SC implementados en el área y período en estudio                           | 17     |
| 3. Grupos de especies conformados para la evaluación de la biodiversidad existente en los sistemas.        | 20     |
| 4. Uso del suelo en períodos móviles de 5 años para la superficie estudiada                                | 23     |
| 5. Correlación de variables seleccionadas para cada CPs, porcentaje de varianza total y acumulada de estos | 27     |
| 6. Resumen de indicadores de uso del suelo para cada conglomerado en el periodo 2014-2018                  | 29     |
| 7. Clasificación cruzada con tasa de error aparente para el periodo 2014-2018 con los nuevos grupos        | 30     |
| 8. Resumen de indicadores de uso del suelo para cada conglomerado en el periodo 2015-2019                  | 31     |
| 9. Clasificación cruzada con tasa de error aparente para el periodo 2015-2019 con los nuevos grupos        | 31     |
| 10. Resumen de indicadores de uso del suelo para cada conglomerado en el periodo 2016-2020                 | 32     |
| 11. Clasificación cruzada con tasa de error aparente para el periodo 2016-2020 con los nuevos grupos       | 33     |
| 12. Resumen de indicadores de uso del suelo para cada conglomerado en el periodo 2017-2021                 | 33     |
| 13. Clasificación cruzada con tasa de error aparente en periodo 2017-2021 con los nuevos grupos            | 34     |
| 14. Resumen de indicadores de uso del suelo para cada conglomerado en el periodo 2018-2020                 | 35     |
| 15. Clasificación cruzada con tasa de error aparente para el periodo 2018-2022 con los nuevos grupos       | 35     |

| Figura No   | Página |
|---|--------|
| 1. Evolución de la biodiversidad invernal y estival   | 24     |
| 2. Componentes de la biodiversidad en dos períodos contrastantes (2014-2018 y 2018-2022)      | 26     |
| 3. Composición de los distintos grupos de sistemas identificados para cada periodo de estudio | 36     |
| 4. Trayectoria de los grupos de sistemas de cultivos identificados                            | 38     |
| 5. Evolución de los principales indicadores de uso de suelo                                   | 39     |
| 6. Estructura de edad de las pasturas dentro de los SC  | 40     |

## **RESUMEN**

En las últimas décadas, la región ha experimentado cambios significativos en su paisaje agrícola. La expansión del cultivo de soja, junto con la adopción de prácticas agronómicas intensivas, ha modificado el uso del suelo y ha planteado desafíos en términos de sostenibilidad y gestión ambiental.

Este estudio se propuso analizar la evolución del uso del suelo agrícola en la región y su impacto en la biodiversidad. Se llevó a cabo un análisis de los indicadores globales a lo largo del tiempo, los cuales permiten conocer la trayectoria de los distintos sistemas de cultivos.

Los resultados obtenidos proporcionan una visión detallada de la evolución de los SC, como mayor intensificación en el uso del suelo y una mayor uniformidad de los sistemas. Estos hallazgos son fundamentales para informar políticas agrícolas y prácticas de manejo que promuevan la sostenibilidad y la resiliencia en el sector agrícola uruguayo.

*Palabras clave:* agricultura, intensificación, sistemas de cultivos, diversidad, sostenibilidad

## **SUMMARY**

In recent decades, the region has experienced significant changes in its agricultural landscape, influenced by various socioeconomic and environmental factors. The expansion of soybean cultivation, along with the adoption of intensive agronomic practices, has altered land use and posed challenges in terms of sustainability and environmental management.

This study aimed to analyze the evolution of agricultural land use in the region and its impact on biodiversity. An analysis of global indicators over time was conducted, allowing us to understand the trajectory of different cropping systems.

The results reveal a trend towards greater intensification and increased uniformity of systems. The findings provide a detailed view of the evolution of cropping systems, showing increased land use intensification and greater system uniformity. These findings are essential for informing agricultural policies and management practices that promote sustainability and resilience in the Uruguayan agricultural sector.

*Keywords:* agriculture, intensification, cropping systems, diversity, sustainability

## **1. INTRODUCCIÓN**

La agricultura desempeña un papel crucial en la economía y el desarrollo sostenible de muchos países, siendo el Uruguay un ejemplo destacado en la región del Cono Sur. En este contexto, entender la dinámica de los sistemas de cultivos (SC) es fundamental para optimizar la productividad agrícola y mitigar los impactos ambientales negativos.

Los sistemas de cultivos (SC) implementados en el litoral oeste de Uruguay se han ido modificando. Partiendo del tradicional esquema de rotación de cultivos con pasturas plurianuales de fines del siglo XX, a una agricultura continúa sin labranza, con predominancia de soja en la secuencia y dentro de esta, participación variable de cultivos de invierno.

En este trabajo, se plantea como hipótesis, que existe una trayectoria de intensificación de la agricultura, la cual puede describirse utilizando indicadores de uso del suelo de la superficie afectada a la agricultura a nivel de predios. El objetivo general es identificar los cambios que han realizado los sistemas de cultivos en el área agrícola de Uruguay, describiendo la evolución del uso del suelo y cultivos utilizados en el proceso de intensificación.

Se plantean como objetivos, describir los cambios de uso del suelo de 41 predios integrantes de la Federación Uruguaya de Centros Regionales de Experimentación Agropecuaria (FUCREA) y Asociación Uruguaya pro-Siembra Directa (AUSID) ubicados en el litoral y centro-sur del Uruguay, una región donde la agricultura tiene una significativa incidencia. Para ello se utilizó el registro del uso del suelo de cada predio para el período 2014 - 2022.

Para alcanzar el objetivo propuesto, se describió el uso del suelo para períodos de 5 años móviles, lo que permite capturar los cambios graduales que se implementaron. Se construyeron indicadores basados en antecedentes bibliográficos que describen la intensificación del uso del suelo y las secuencias de cultivo predominantes. La identificación de los SC se realizó a través de análisis multivariados, utilizando variables que permiten caracterizar y diferenciar el uso del suelo de los SC a lo largo del tiempo.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CAMBIOS EN EL SECTOR**

Al igual que en la región, la agricultura en Uruguay desde el inicio del siglo XXI ha experimentado un considerable desarrollo económico y productivo, principalmente impulsado por la expansión del cultivo de soja (Franzluebbers et al., 2014). Este crecimiento ha modernizado el sector mediante la incorporación de tecnologías y nuevos modelos de negocios, pero también ha resultado en una concentración y extranjerización en toda la cadena de valor (Arbeletche & Gutiérrez, 2010).

Este desarrollo ha generado cambios significativos, entre los cuales se destacan la adopción de la siembra directa, avances genéticos en los cultivos y un mayor uso de insumos, principalmente fertilizantes. Además, ha transformado el mercado de los productos, a un mercado externo como el principal destino, provocando un aumento en el precio de la tierra y del valor del arrendamiento. Como resultado, se produjo una intensificación de la actividad y una mayor presión sobre los recursos naturales (Guibert et al., 2011).

En términos de sistemas de cultivos, la transición hacia sistemas de cultivos continuo ha desplazado a la rotación de cultivos anuales con pasturas perennes, cambiando la relación entre la agricultura y la actividad ganadera de una complementaria a una competitiva. Esto ha llevado a que la ganadería de cría ocupe suelos de menor aptitud agrícola y al engorde en sistemas de terminación a corral (Guibert et al., 2011).

Sin embargo, tras este proceso expansivo, que multiplicó por cuatro el área agrícola, se ha observado una caída en el precio de los granos, un aumento en el costo de insumos como los fertilizantes, y una regulación gubernamental del uso del suelo para controlar la erosión causada por la agricultura continua. Esto ha generado un proceso de retracción, con el retiro de muchas empresas extranjeras y un cambio de actores en la segunda mitad de la década 2010/20. Las grandes empresas han reducido el área y han cambiado su estrategia hacia sistemas más diversificados, donde la ganadería vuelve a complementarse con la agricultura (Arbeletche, 2020; Arbeletche & Pintos, 2022).

### **2.2 IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE CULTIVOS (SC)**

El SC determina las propiedades emergentes del sistema (Ernst & Siri-Prieto, 2008). Una de ellas es la calidad del suelo (Alvarez & Ernst, 2024; Ernst et al., 2018; Rubio et al., 2022; Sasal et al., 2017; Tamburini et al., 2020). Se ha encontrado que el SC fue la variable de mayor impacto en esta propiedad (Viaud et al., 2018). La inclusión

de pasturas perennes es una práctica efectiva para mejorar dicha calidad (Franzluebbers et al., 2014; Piutti et al., 2015; Van Eekeren et al., 2008), ya que puede aumentar la cubierta vegetal permanente, reducir la perturbación del suelo y estabilizar los agregados del suelo (Viaud et al., 2018).

Un componente del suelo que se modifica con el SC es el carbono orgánico del suelo (COS) (Alvarez & Ernst, 2024), resultado del balance entre el aporte de residuos vegetales y su descomposición. Aumentar el COS se asocia con prácticas de agricultura de conservación y el uso de cobertura vegetal sobre la superficie del suelo (Campbell & Zentner, 1993; Lal et al., 1998). El COS participa en la formación de macroagregados, impactando en la compactación y capacidad de retención de agua del suelo (Blanco-Canqui et al., 2013).

El riesgo de erosión, determinada principalmente por la cobertura del suelo a través de los residuos vegetales, es influenciada por el tipo de cultivo en la secuencia, siendo esta la variable de mayor impacto (Ernst & Siri-Prieto, 2008). La alta frecuencia de soja, que deja pocos restos vegetales con baja relación C/N (Wright & Hons, 2004), deja el suelo descubierto y propenso a la erosión en períodos de barbecho (Novelli et al., 2011).

Los SC también determinan el ciclo de nutrientes, modificando la eficiencia en su uso (Ernst et al., 2018), así como la utilización de otros recursos como la radiación y el agua. Los sistemas que rotan el cultivo de soja con el de maíz en verano son más eficientes en el uso de los recursos (Andrade & Satorre, 2015) y pueden generar mejores resultados económico-productivos (Mazzilli & Ernst, 2019).

La productividad de la tierra aumenta con una mayor intensidad de uso del suelo (Caviglia et al., 2004; Caviglia & Andrade, 2010; Van Opstal et al., 2011), aunque varía según los cultivos utilizados (Andrade et al., 2015). Una alta intensidad mejora la estabilidad de los agregados del suelo (Novelli et al., 2017) y aumenta la posibilidad de desarrollar una estructura de suelo fragmentaria sobre la superficie (Sasal et al., 2017).

Es importante destacar que la actividad agrícola está expuesta a condiciones climáticas impredecibles y cambios socioeconómicos, lo que requiere reconsiderar el diseño del SC para hacer frente a esta variabilidad (Naylor, 2009). La diversidad se considera clave para mejorar el comportamiento de los sistemas ante posibles perturbaciones, lo que está siendo cada vez más relevante (Altieri et al., 2015; Lin, 2011; Naylor, 2009; Østergård et al., 2009).

Los SC más simples, con menor variedad de cultivos (Novelli et al., 2011) y eliminar las pasturas de la rotación, son prácticas que tienden a una pérdida gradual en

la calidad y fertilidad del suelo (Alvarez & Ernst, 2024; Ernst et al., 2018). Se asocia con una pérdida en la capacidad de suministro de nutrientes desde el suelo (Ernst et al., 2020) y un uso menos eficiente de los recursos (Foley et al., 2005). Esto genera sistemas menos estables y resilientes (Sanford et al., 2021), más vulnerables a la variabilidad de las condiciones ambientales, mayor incidencia de factores reductores como malezas, plagas y enfermedades, aumentando la dependencia y necesidad de insumos (Beillouin et al., 2021; Nicholls et al., 2017). Como resultado, aumenta el riesgo de generar impactos ambientales negativos, como la contaminación del agua aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero así como impactos sociales como la pérdida de explotaciones agropecuarias y de infraestructura rural (Russelle et al., 2007).

En contraposición los sistemas más diversificados han logrado demostrar un incremento del rendimiento de los cultivos (Beillouin et al., 2021; Ernst et al., 2018; Mazzilli & Ernst, 2019; Tamburini et al., 2020). Incorporar pasturas perennes a una secuencia de cultivos anuales puede generar comunidades biológicas en el suelo las cuales aumentan la calidad y diversidad de residuos químicos, mejorando la materia orgánica y fertilidad del suelo (Tiemann et al., 2015). Demostrando que la diversidad es clave para la estabilidad y la resiliencia de los sistemas (Sanford et al., 2021).

### **2.3 CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE CULTIVOS**

Las estrategias de uso de la tierra pueden ser descritas y comparadas utilizando indicadores, que permiten evaluar los cambios en la calidad del suelo (Alvarez & Ernst, 2024). Los indicadores pueden incluir variables como la cobertura vegetal anual, la frecuencia de un cultivo particular en una secuencia de cultivos (Novelli et al., 2013) o la presencia de pasturas perennes dentro de los SC (Rubio et al., 2022). Estos indicadores son clave para caracterizar los SC. Tienen como objetivo facilitar el diagnóstico y la interpretación de los procesos de forma crítica, para mejorar la capacidad de decisión (Girardin et al., 1999). Para lograrlo, deben ser objetivos, significativos, simples de calcular y fáciles de interpretar (Viglizzo et al., 2006). En términos generales, los indicadores deben cumplir cuatro características deseables: i) ser representativos del sistema elegido y tener base científica; ii) ser cuantificables; iii) representar claramente una parte de la cadena causa-efecto; iv) deberían ofrecer herramientas para el desarrollo y aplicación de políticas (Østergaard, 1995). Además, según Gomez et al. (1996), un indicador debe cumplir uno o más de los siguientes aspectos, fácil de medir, responder fácilmente a los cambios, tener umbrales obvios que separen condiciones de sostenibilidad de las de no sostenibilidad y/o que esté

directamente relacionado a los dos requerimientos de sostenibilidad. Para ello deben ser sensibles al manejo, confiables y tener un significado productivo.

La agricultura entendida como un conjunto de prácticas modernas no se limita únicamente a la siembra y cosecha de cultivos, sino que es un sistema complejo y dinámico compuesto por una serie de componentes interrelacionados que influyen en su funcionamiento y productividad. Por lo cual caracterizar los SC y su trayectoria en el tiempo es clave para diagnosticar cuales son los grandes puntos a resolver, o potenciales riesgos que existen en nuestra región.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDIO**

El área estudiada corresponde al litoral y centro-sur del Uruguay, la zona del país en la cual la agricultura tiene mayor incidencia. El clima es subtropical húmedo con una temperatura media diaria anual de 17,5 °C con grandes variaciones según la estación. La precipitación media anual es de 1200 mm, con una alta variación entre años. Debido a las características ambientales es posible realizar dos cultivos por año.

Se trabajó con una base de datos con registros del uso del suelo para el periodo 2014-2022, de 41 predios de productores integrantes de FUCREA y AUSID. La información utilizada se refiere a todas las unidades de manejo que participan en la agricultura dentro de cada predio. No se consideró la superficie que se mantuvo monte, campo natural y aquellas en la se haya sembrado cultivos cerealeros únicamente durante un año. Una unidad de manejo es un área definida dentro del predio en la cual se aplican las mismas medidas de manejo.

#### **3.2 ESTRATEGIA DE TRABAJO**

Para lograr el objetivo de conocer la trayectoria de los SC en esta región, se dividió la información en periodos de 5 años móviles (2014-2018, 2015-2019, 2016-2020, 2017-2021, 2018-2022), de manera de capturar la evolución temporal de los componentes de las rotaciones. A cada periodo se lo analizará de la misma manera, para luego poder compararlos y analizar la evolución de los sistemas.

#### **3.3 DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

En la tabla No 1 se observa un resumen de la información obtenida de la base de datos sobre la cual se trabajó en cada uno de los periodos.

**Tabla 1***Resumen de la información utilizada en el trabajo*

|   | 2014-<br>2018 | 2015-<br>2019 | 2016-<br>2020 | 2017-<br>2021 | 2018-<br>2022 |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Superficie total (ha)                           | 23561         | 27140         | 28992         | 28992         | 28992         |
| Número de predios (#)                           | 34            | 38            | 41            | 41            | 41            |
| Predio de máxima superficie (ha)                |               |               | 2841          |               |               |
| Predio de menor superficie (ha)                 |               |               | 120           |               |               |
| Superficie promedio de predio (ha)              | 693           | 695           | 707           | 707           | 707           |
| Número de unidades de manejo                    | 675           | 787           | 816           | 816           | 816           |
| Unidad de manejo de mayor superficie (ha)       |               |               | 537           |               |               |
| Unidad de manejo de menor superficie (ha)       | 1             | 1             | 1             | 1             | 1             |
| Superficie promedio de la unidad de manejo (ha) | 34,9          | 34,5          | 35,5          | 35,5          | 35,5          |

### 3.4 CONSTRUCCIÓN DE VARIABLES PARA CARACTERIZAR LOS SISTEMAS DE CULTIVOS

Los indicadores se definieron en base a antecedentes bibliográficos, los cuales indican que intensificar el uso del suelo (Caviglia et al., 2004; Rubio et al., 2022), utilizar especies con metabolismo C4 (Mazzilli & Ernst, 2019; Novelli et al., 2013), rotar los cultivos anuales con pasturas perennes (Ernst et al., 2018, 2020), aumentar la diversidad (Alvarez & Ernst, 2024; Ernst et al., 2018; Mazzilli & Ernst, 2019; Tamburini et al., 2020; Tiemann et al., 2015), mantienen o mejoran la calidad del suelo y el rendimiento de los cultivos.

Para construir las variables se utilizó el uso del suelo por unidad de manejo de cada semestre para el período en estudio (2014-2022) y la variabilidad de biodiversidad. El valor de los indicadores de uso de suelo se obtuvieron como la media de cada unidad de manejo del predio, ponderada por su área.

$$\bar{x}_y = \frac{\sum_{i=1}^N x_i * w_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

Donde  $\bar{X}_y$  es la media ponderada del indicador,  $x_i$  la media del indicador de cada unidad de manejo del predio para el período en estudio,  $w_i$  el área de cada unidad de manejo.

Las variables se pueden observar en la siguiente tabla, los símbolos utilizados para la identificación de los indicadores fueron extraídos de Álvarez y Ernst (2024).

**Tabla 2**

*Variables de uso de suelo de SC implementados en el área y período en estudio*

| <b>Indicador de uso del suelo</b>             | <b>Símbolo</b> | <b>Unidad</b> | <b>Descripción</b>  |
|---|----------------|---------------|---|
| Número total cultivos de renta                | TC             | #             | Número total de cultivos de renta sembrados durante el período en estudio.                                  |
| Tiempo en pasturas                            | TP             | #             | Número total de semestres ocupados por la fase pasturas de la rotación.                                     |
| Relación pastura/cultivo                      | PCR            | #             | Relación entre el tiempo en fase agrícola con el tiempo en fase pasturas de la rotación.                    |
| Años de agricultura                           | YC             | #             | Duración de la fase agrícola (años).  |
| Intensidad de cultivos de la fase agrícola    | IAFI           | #             | Número de cultivos de renta sembrados por año en la fase agrícola.  |
| Intensidad de uso del suelo                   | ISI            | #             | Proporción del tiempo en que el suelo está produciendo biomasa, ya sea en fase pasturas o en fase agrícola. |
| Número de cultivos de soja                    | SbC            | #             | Número total de cultivos de soja sembrados durante el período en estudio.                                   |
| Número de cultivos de renta de verano         | TSC            | #             | Número total de cultivos de renta de verano sembrados.  |
| Frecuencia de soja en verano                  | SSbCF          | #             | Frecuencia de cultivo de soja de la fase agrícola de verano.  |
| Porcentaje de cultivos gramínea de invierno   | GWC            | %             | Proporción de cultivos de renta de gramínea de invierno sembrados durante el período en estudio.            |
| Porcentaje de cultivos leguminosa de invierno | LWC            | %             | Proporción de cultivos de renta leguminosa de invierno sembrados durante el período en estudio.             |
| Porcentaje de cultivos brassica de invierno   | BWC            | %             | Proporción de cultivos de renta de canola y carinata de invierno sembrados durante el período en estudio.   |
| Porcentaje de cultivos gramínea de verano     | GSC            | %             | Proporción de cultivos de renta gramínea de verano sembrados durante el período en estudio.                 |

|  |        |   |  |
|--|--------|---|--|
| Porcentaje de cultivos leguminosa de verano    | LSC    | % | Proporción de cultivos de renta leguminosa de verano sembrados durante el período en estudio.  |
| Porcentaje de cultivos brassica de verano      | BSC    | % | Proporción de cultivos de renta brassica de verano sembrados durante el período en estudio.  |
| Porcentaje de cultivos asteraceas de verano    | ASC    | % | Proporción de cultivos de renta asteráceas de verano sembrados durante el período en estudio.  |
| Porcentaje de pasturas de un año               | PP1    | % | Proporción de pasturas sembradas de un año durante el período en estudio.  |
| Porcentaje de pasturas de dos años             | PP2    | % | Proporción de pasturas sembradas de dos años durante el período en estudio.  |
| Porcentaje de pasturas de tres años            | PP3    | % | Proporción de pasturas sembradas de tres años durante el período en estudio.   |
| Porcentaje de pasturas de cuatro años          | PP4    | % | Proporción de pasturas sembradas de cuatro años durante el período en estudio.   |
| Porcentaje de pasturas de cinco años           | PP5    | % | Proporción de pasturas sembradas de cinco años durante el período en estudio.  |
| Porcentaje de pasturas de seis años            | PP6    | % | Proporción de pasturas sembradas de seis años durante el período en estudio.   |
| Porcentaje de pasturas de siete años           | PP7    | % | Proporción de pasturas sembradas de siete años durante el período en estudio.  |
| Porcentaje de pasturas de ocho años            | PP8    | % | Proporción de pasturas sembradas de ocho años durante el período en estudio.   |
| Porcentaje de mejoramiento                     | FI     | % | Proporción de pasturas sembradas que durante el periodo estudiado no fueron intervenidas.  |
| Porcentaje de barbecho de verano o invierno    | Fallow | % | Proporción del tiempo con suelo en barbecho durante el período en estudio.   |
| Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea   | CCGC   | % | Proporción de cultivos de cobertura de gramínea de invierno y verano sembrados durante el período en estudio.                                    |
| Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa | CCLC   | % | Proporción de cultivos de cobertura de leguminosa de invierno y verano sembrados durante el período en estudio.                                  |
| Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla     | CCGLC  | % | Proporción de cultivos de cobertura de mezcla de especies gramíneas y leguminosas de invierno y verano sembrados durante el período en estudio.  |
| Porcentaje de cultivos de cobertura            | CC     | % | Suma de las proporciones de cultivos de cobertura gramíneas, leguminosas y mezclas de invierno y verano sembrados durante el período en estudio. |

| Índice de Shannon | IS | # | Grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de los distintos grupos o especies presentes en el SC. |
|-------------------|----|---|---|
|-------------------|----|---|---|

Respecto a la variabilidad de biodiversidad inicialmente se crearon 17 grupos, los cuales se pueden ver en la Tabla No 3, se calculó el área que ocupó cada uno en la totalidad del tiempo evaluado como porcentaje del área total utilizada.

$$X_y = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

Donde  $X_y$  es el porcentaje del grupo en el total del área,  $x_i$  son las hectáreas utilizadas por el grupo en cada estación,  $w_i$  es el área utilizada en cada estación por la rotación agrícola.

Para el cálculo del índice de biodiversidad se utilizó el índice de Shannon.

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Donde  $S$  es número de grupos o especie,  $p_i$  proporción de superficie de ese grupo o especie respecto al total de superficie  $\frac{n_i}{N}$ , donde  $n_i$  superficie ocupada por un grupo y  $N$  la superficie total utilizada.

**Tabla 3**

*Grupos de especies conformados para la evaluación de la biodiversidad existente en los sistemas.*

| <b>Grupos</b>             | <b>Descripción</b>  | <b>3.5</b> |
|---------------------------|---|------------|
| Leguminosas               | Cultivos de renta de la familia Leguminosae   |            |
| Gramíneas                 | Cultivos de renta de la familia Gramineae   |            |
| Brassicas                 | Cultivos de renta de la familia Brassicaceae  |            |
| Asteráceas                | Cultivos de renta de la familia Compositae  |            |
| Pastura de un año         | Pasturas que se encuentran en el primer año de producción                                 |            |
| Pastura de dos años       | Pasturas que se encuentran en el segundo año de producción                                |            |
| Pasturas de tres años     | Pasturas que se encuentran en el tercer año de producción                                 |            |
| Pasturas de cuatro años   | Pasturas que se encuentran en el cuarto año de producción                                 |            |
| Pasturas de cinco años    | Pasturas que se encuentran en el quinto año de producción                                 |            |
| Pasturas de seis años     | Pasturas que se encuentran en el sexto año de producción                                  |            |
| Pasturas de siete años    | Pasturas que se encuentran en el séptimo año de producción                                |            |
| Pasturas de ocho años     | Pasturas que se encuentran en el octavo año de producción                                 |            |
| Mejoramiento              | Pasturas que durante todo el periodo de estudio no fueron sustituidas por ningún cultivo. |            |
| Barbecho químico          | Semestres en los cuales no se realizó la siembra de ningún cultivo                        |            |
| Coberturas de gramíneas   | Cobertura vegetal de la familia Gramineae   |            |
| Coberturas de leguminosas | Cobertura vegetal de la familia Leguminosae   |            |
| Coberturas mezcla         | Cobertura vegetal conformada por mezcla de especies de la familia Leguminosae y Gramineae |            |

### **SELECCIÓN DE VARIABLES DE USO DEL SUELO Y DE BIODIVERSIDAD**

Para evitar trabajar con variables correlacionadas, se adaptó la propuesta de Peralta y Costa (2013), y Stevenson et al. (2015). Se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA, por su sigla en inglés), previa estandarización de la información, disminuyendo la dimensionalidad del conjunto de datos y reteniendo aquellos que mejor describen la información. El análisis de los datos se realizó con el programa estadístico InfoStat y stats del equipo central de R.

El proceso de selección consistió en (1) identificar los componentes principales (CPs), para lo cual se utilizó los autovalores los cuales deben tener un lambda mayor a

1,5 y una proporción mayor a 0,05; (2) seleccionar los CPs con varianza ( $\lambda$ )  $> 1$  y que representen al menos el 5% de la variabilidad de la información; (3) seleccionar las variables con una correlación (Pearson,  $\rho$ ) mayor a [0,6] con los CPs seleccionados, en caso de no presentar ninguno con un valor mayor a 0,6 se cambió el criterio a [0,5]; (4) retener aquellos que tuvieran una correlación menor a [0,5] entre sí.

### **3.6 IDENTIFICACIÓN DE GRUPOS SISTEMAS DE CULTIVOS EN BASE A INDICADORES DE USO DE SUELO**

Con las variables seleccionadas se realizó un análisis de conglomerados. Los conglomerados se generaron utilizando el método jerárquico de agrupamiento de enlace promedio utilizando una distancia euclidiana. Se especificó que se cortara el árbol en 5 conglomerados. Utilizando las variables seleccionadas como variables independientes y a los conglomerados con  $n > 1$  como criterio de agrupamiento (Sokal & Michener, 1958), se realizó un Análisis Discriminante Lineal (LDA, por sus siglas en inglés) para identificar el peso de cada variable en la conformación de los grupos a través del análisis de la varianza univariados.

### **3.7 CARACTERIZACIÓN DE GRUPOS DE SISTEMAS DE CULTIVOS EN BASE A INDICADORES DE USO DE SUELO**

Para describir el uso del suelo de cada grupo e identificar las diferencias entre ellos se procedió a: (1) cálculo de las medidas de resumen (media, desvío estándar, mínimo, máximo y mediana) de las variables seleccionada como representantes de los CPs; (2) cálculo de la varianza utilizando el método LSD Fisher con un nivel de significancia  $p \leq 0,05$  para el total de variables calculadas en el punto 3.5; (3) unificación de conglomerados, se unificaron aquellos conglomerados que presentaron similitud en relación con las variables que resultaron significativamente diferentes en el análisis LSD de Fisher, junto con los resultados del análisis de varianza univariado. Una vez realizada la agrupación se procede a realizar una clasificación cruzada para ver la tasa de error aparente, tomando como tolerancia un valor  $< 10\%$ .

### **3.8 TRAYECTORIA DE LOS SISTEMAS DE CULTIVOS**

Para representar la trayectoria de los SC se construyó un gráfico utilizando los indicadores que permitían separar a los distintos grupos de SC. Para utilizar una unidad común, al indicador PCR se lo representó como el tiempo en pastura (TP). A la

frecuencia de soja se la representó como tiempo ocupado por el cultivo de soja, el cual se calculó multiplicando el número total de cultivos de verano sembrados (TSC) por la frecuencia del cultivo de soja (SSbCS) dividido dos para llevarlo a años para poder graficar a este último indicador. La agricultura sin soja, son los años de agricultura (YC) menos el tiempo en soja y en barbecho. El barbecho también se gráfica para representar a la intensidad de uso del suelo (ISI).

Luego para caracterizar los cambios en los diferentes sistemas a lo largo del tiempo también, se graficaron las diferencias entre la media de cada grupo y la media de cada período en estudio, utilizando los indicadores que permitieron la diferenciación de SC en al menos un período.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL USO DE SUELO POR PERIODO

#### 4.1.1 Indicadores descriptivos

En la Tabla No 4 se resumen los indicadores de uso de suelo más relevantes que permiten caracterizar el uso de suelo en períodos móviles de 5 años para la superficie total de los predios en estudio. En los anexos A, B, C, D y E se puede ver en detalle el valor de todas las variables calculadas con su media, desvío estándar, máximo, mínimo y mediana para cada periodo.

Los valores medios de los indicadores de forma global, no mostraron grandes cambios con el paso del tiempo. La relación pastura cultivo se mantuvo en torno a 0,4, esto quiere decir que el sistema implementa pasturas, menos de la mitad (40%) de tiempo del que le dedica a la fase agricultura; la IAFI, que indica la cantidad de cultivos sembrados por año en la fase agrícola, presentó un leve aumento, pasando de 1,40 en el 2014-2018, a 1,54 en el 2018-2022; la SSbCF se mantiene en valores alrededor de 0,8 lo cual indica, por ejemplo, que, para una fase agrícola de 10 años, en 8 años se sembró soja y 2 años un cultivo diferente (principalmente maíz) durante la estación estival.

Se puede destacar una tendencia al aumento en la ISI la cual estaba en 90% y llegó al 95%. El indicador representa la proporción del tiempo en que el suelo permanece con cobertura viva (crecimiento activo). Cuando ISI = 90 indica que en un 90% del tiempo el suelo estuvo bajo algún tipo de uso diferente de barbecho.

**Tabla 4**

*Uso del suelo en períodos móviles de 5 años para la superficie estudiada*

|        | Ud | 2014-2018 | 2015-2019 | 2016-2020 | 2017-2021 | 2018-2022 |
|--------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PCR    | #  | 0,4±0,45  | 0,44±0,43 | 0,47±0,43 | 0,44±0,4  | 0,4±0,36  |
| IAFI   | #  | 1,4±0,2   | 1,43±0,19 | 1,46±0,17 | 1,49±0,17 | 1,54±0,16 |
| ISI    | %  | 90±7      | 92±6      | 94±7      | 94±6      | 95±6      |
| SSbCF  | #  | 0,8±0,15  | 0,85±0,15 | 0,83±0,16 | 0,82±0,16 | 0,81±0,14 |
| Fallow | %  | 9±7       | 7±6       | 6±6       | 5±6       | 5±6       |
| IS     | #  | 0,93±0,41 | 0,95±0,45 | 1,02±0,47 | 1,05±0,49 | 1,07±0,51 |

*Nota.* Media de los indicadores con sus desvíos estándar. Ud= Unidad; PCR= Relación pastura/cultivo; IAFI = Intensidad de cultivos de la fase agrícola; ISI= Intensidad de uso del suelo; SSbCF= Frecuencia de soja en verano; Fallow= Porcentaje de barbecho de verano o invierno; IS= Índice de Shannon.

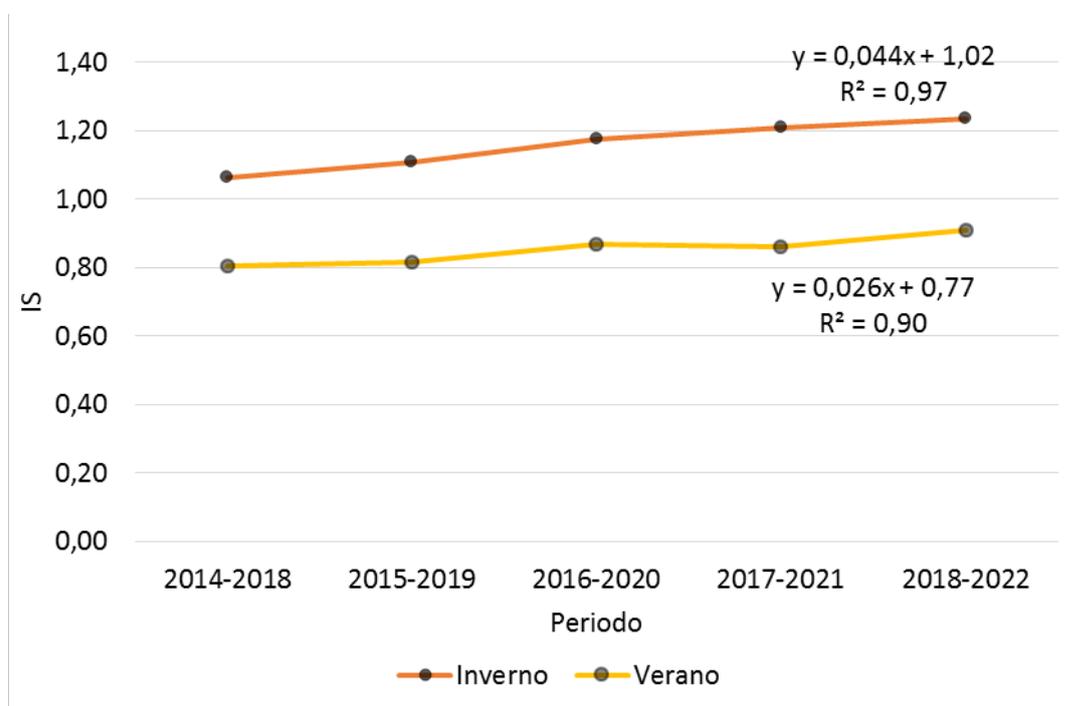
#### 4.1.2 Indicadores de biodiversidad

La diversidad del sistema de cultivo medida a través del índice de Shannon mostró un aumento, tanto en la estación de crecimiento invernal como en la estival. Siendo mayor el aumento en el invierno respecto al verano, aun así, al encontrarse con valores por debajo de dos (biodiversidad media), para ambos casos se considera una biodiversidad baja en términos del índice.

Cabe destacar que, si se mirase en términos de especie y no de familias, los valores de biodiversidad tenderían a aumentar tanto en verano como en invierno, probablemente aumentando más en este último, dada la diversidad de especies de cultivos de cobertura que se implementan.

#### **Figura 1**

*Evolución de la biodiversidad invernal y estival*



Dentro de la estación estival, el aumento en biodiversidad a través de los periodos no está explicado por cambios en las proporciones de las diferentes familias, ni por la incorporación de nuevas como podrían ser las asteráceas, sino por variaciones en la proporción y duración de las praderas. A lo largo del período se registró un aumento en la duración de las pasturas y por lo tanto una variación en la superficie bajo pasturas, lo que se refleja en una mayor biodiversidad. En la estación estival es el único cambio relevante, ya que la proporción de soja y maíz se mantuvieron casi constantes.

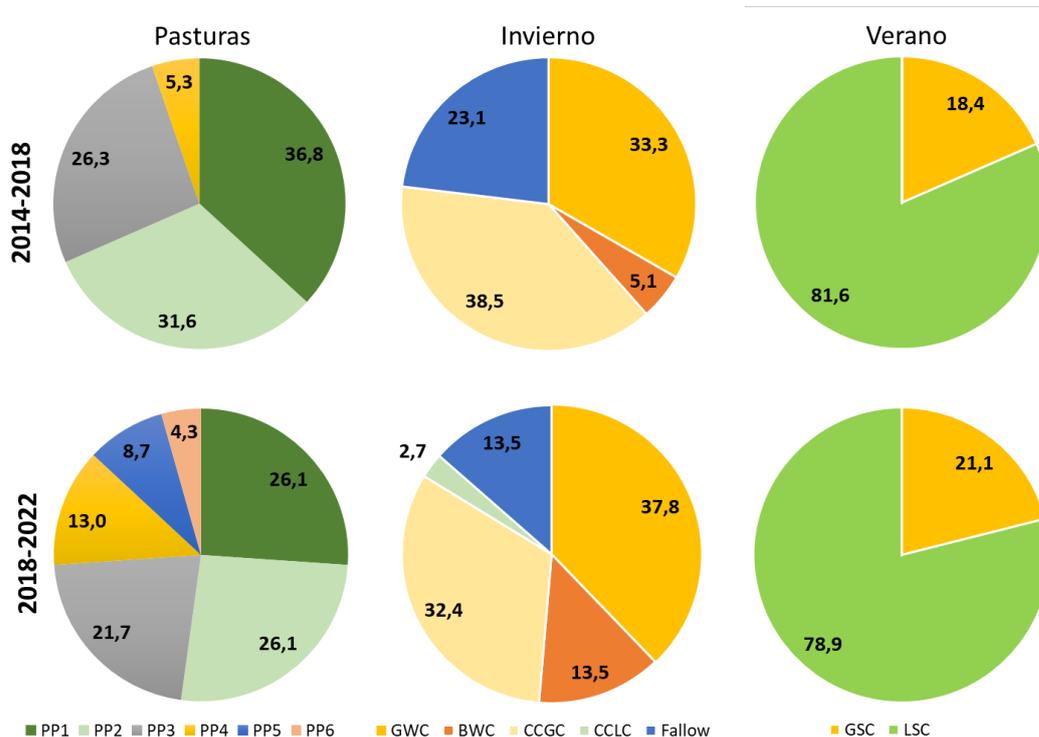
En la estación invernal el aumento en biodiversidad fue de aproximadamente el doble que, en la estival, explicado por una mayor uniformidad en las proporciones de cultivos, una mayor adopción de nuevos cultivos como la colza, incorporación de nuevos cultivos de servicio para cobertura del suelo (como la vicia, familia de las Leguminosas). También se observa una disminución del tiempo bajo barbecho invernal el cual no fue producto de la siembra de cultivos de coberturas (se mantienen constantes), sino por la siembra de cultivos de renta como los cereales y las brassicas.

Los resultados muestran una mejor distribución de las proporciones de cultivos, mayor adopción de cultivos renta de Brassicas, reducción de barbecho, más pasturas plurianuales, nuevos cultivos de coberturas de leguminosa, todos factores clave que explican el incremento en la biodiversidad (Figura 2).

La diversificación mejora la resiliencia y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Altieri et al., 2015; Tiemann et al., 2015) clave para enfrentar perturbaciones ambientales y socioeconómicas (Altieri et al., 2015; Lin, 2011; Naylor, 2009; Østergård et al., 2009). Si bien los cambios cuantificados en el uso del suelo de los SC pueden valorarse como positivos, responden casi a en su totalidad a los implementados en la estación de crecimiento invernal, identificamos una necesidad de explorar alternativas en los cultivos estivales.

## Figura 2

Componentes de la biodiversidad en dos períodos contrastantes (2014-2018 y 2018-2022)



Nota. Cultivos perennes (pasturas) diferenciados por su edad, y cultivos anuales por estación (verano e invierno) diferenciados entre cultivos de renta o de cobertura, y por familias. GWC= Porcentaje de cultivos gramínea de invierno; BWC= Porcentaje de cultivos brassica de invierno; GSC= Porcentaje de cultivos gramínea de verano; LSC= Porcentaje de cultivos leguminosa de verano; PP1= Porcentaje de pasturas de un año; PP2= Porcentaje de pasturas de dos años; PP3= Porcentaje de pasturas de tres años; PP4= Porcentaje de pasturas de cuatro años; PP4= Porcentaje de pasturas de cinco años; PP6= Porcentaje de pasturas de seis años; Fallow= Porcentaje de barbecho de verano o invierno; CCGC= Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea; CCLC= Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa; CCGLC= Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla.

## 4.2 GRUPOS DE SISTEMAS DE CULTIVOS

### 4.2.1 Selección de indicadores de uso de suelo para agrupar sistemas de cultivos

Con los indicadores calculados es posible generar 465 combinaciones. Estas correlaciones pueden verse en las matrices de correlaciones en los anexos F, G, H, I, J.

El análisis de correlación para el periodo 2014-2019 resultó significativo para 109 combinaciones, en el periodo 2015-2019, 96, en el 2016-2020, 97, para el 2017-2021, 93 fueron significativas, y por último en el periodo 2018-2022, 103.

Luego se procedió a definir el conjunto mínimo de datos, se seleccionaron los indicadores de uso del suelo representativos de los primeros cuatro CPs. En la Tabla No 5 se presentan las variables elegidas para cada CP con su correlación, la proporción de la varianza que aporta cada uno de ellos y la acumulada. (Anexos K, L, M, N y Ñ).

**Tabla 5**

*Correlación de variables seleccionadas para cada CPs, porcentaje de varianza total y acumulada de estos*

|                | 2014-2020    | 2015-2019             | 2016-2020              | 2017-2021             | 2018-2022               |
|----------------|--------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>CP 1</b>    | PCR 0.93     | PCR -0.94             | PCR -0.91<br>PP4 -0.73 | PCR -0.92             | PCR -0.94<br>PP5 -0.65  |
| <b>PV(%)</b>   | <b>0.44</b>  | <b>0.45</b>           | <b>0.41</b>            | <b>0.38</b>           | <b>0.38</b>             |
| <b>VA(%)</b>   | <b>0.44</b>  | <b>0.45</b>           | <b>0.41</b>            | <b>0.38</b>           | <b>0.38</b>             |
| <b>CP 2</b>    | SSCbF 0.77   | IS 0.64<br>SSCbF 0.84 | IS 0.68<br>SSCbF 0.89  | IS 0.65<br>SSCbF 0.89 | IAFI 0.64<br>SSCbF 0.90 |
| <b>PV(%)</b>   | <b>0.13</b>  | <b>0.13</b>           | <b>0.14</b>            | <b>0.14</b>           | <b>0.13</b>             |
| <b>VA(%)</b>   | <b>0.57</b>  | <b>0.58</b>           | <b>0.55</b>            | <b>0.52</b>           | <b>0.51</b>             |
| <b>CP 3</b>    | IS 0.64      | GWC 0.78              | CCLC 0.66              | IAFI -0.56            | IS 0.57                 |
| <b>PV(%)</b>   | <b>0.13</b>  | <b>0.10</b>           | <b>0.10</b>            | <b>0.10</b>           | <b>0.10</b>             |
| <b>VA(%)</b>   | <b>0.70</b>  | <b>0.68</b>           | <b>0.65</b>            | <b>0.62</b>           | <b>0.62</b>             |
| <b>CP 4</b>    | CCLC 0.51    | CCLC 0.69             | PP6 0.61               | PP6 0.61              | PP5 -0.51               |
| <b>PV(%)</b>   | <b>0.08</b>  | <b>0.08</b>           | <b>0.08</b>            | <b>0.07</b>           | <b>0.09</b>             |
| <b>VA(%)</b>   | <b>0.78</b>  | <b>0.76</b>           | <b>0.73</b>            | <b>0.69</b>           | <b>0.70</b>             |
| <b>Cor cof</b> | <b>0.934</b> | <b>0.957</b>          | <b>0.933</b>           | <b>0.926</b>          | <b>0.918</b>            |

*Nota.* CP= Componente principal; PV= Proporción de la varianza; VA=Varianza acumulada; Cor cof= Correlación cofenética. PCR = Relación pastura/cultivo; SSbCF = Frecuencia de soja en la fase agrícola de verano; ISI = intensidad de uso del suelo; CCLC = Proporción de cultivos de cobertura de leguminosa de invierno y verano sembrados durante el periodo en estudio; GWC= Porcentaje de gramíneas de invierno; PP4 = Porcentaje de pasturas de cuatro años; PP5 = Porcentaje de pasturas de cinco años; PP6 = Porcentaje de pasturas de seis años; PP7 = Porcentaje de pasturas de siete años; IAFI= Número de cultivos comerciales plantados por año en la fase agrícola

Periodo 2014-2018: Para representar al CP1 se seleccionó el indicador PCR, debido a su alta correlación con el resto de las variables del CP1 (valor mayor a 0,6) y su fácil interpretación como indicador de la rotación de cultivos anuales con pasturas plurianuales. Este indicador es fácilmente comprensible en el sector y permite evaluar

el peso relativo de la agricultura en el sistema de cultivo (SC). Para el CP2, se eligió el indicador SSbCF, dado que la otra variable con un peso alto, el porcentaje de gramíneas de verano, presentaba una alta correlación con SSbCF. En el caso del CP3, se seleccionó el indicador ISI, por ser el único con un valor mayor a 0,6. Finalmente, para representar al CP4 se escogió el indicador CCLC, bajando el criterio de selección a valores mayores a 0,5, ya que los únicos indicadores con valores mayores a 0,6 (porcentaje de barbecho e ISI) estaban correlacionados con otras variables ya seleccionadas.

Periodo 2015-2019: En este período, se mantuvo el indicador PCR para representar al CP1, ya que no había otra variable con un valor mayor a 0,6 no correlacionada con este. Para el CP2, se seleccionaron los indicadores SSbCF e ISI. En el CP3, se eligió el indicador GWC. Por último, se escogió el indicador CCLC para representar al CP4, el cual en este período presentó un valor mayor a 0,6.

Periodo 2016-2020: Al igual que en los períodos anteriores, el indicador PCR fue seleccionado para representar al CP1, junto con PP4, dado que su correlación con PCR era menor a 0,5. Para el CP2, se seleccionaron los indicadores SSbCF e ISI. En el CP3, se eligió el indicador CCLC. Finalmente, se escogió PP7 para representar al CP4.

Periodo 2017-2021: En este período, se mantuvo el indicador PCR para representar al CP1. Para el CP2, se seleccionaron los indicadores SSbCF e ISI. En el CP3, se eligió el indicador IAFI, el cual no había tenido tanto peso en períodos anteriores. Finalmente, se escogió PP7 para representar al CP4, el cual presentó un valor mayor a 0,6 en este período.

Periodo 2018-2022: Para representar al CP1, se seleccionaron los indicadores PCR y PP5. En el CP2, se eligieron los indicadores SSbCF e IAFI. Para el CP3, se seleccionó el indicador ISI, tenía un valor menor a 0,6, se bajo el criterio de selección de valores mayores a 0,5 debido a la falta de variables con valores mayores. Finalmente, se escogió el indicador PP5 para representar al CP4.

En todos los periodos estudiados la correlación cofenética fue superior a 0,9 lo cual muestra que con los 4 CPs el dendrograma representa bien las distancias originales.

#### **4.2.2 Identificación de grupos de sistemas de cultivos**

A partir de las variables elegidas previamente (4.2.1) como representantes de los CPs en cada periodo se procede a diferenciar los grupos, utilizándolos para la formación de conglomerados.

#### 4.2.2.1 Identificación de grupos de sistemas de cultivos periodo 2014-2018

El conglomerado que agrupa la mayor cantidad de SC es el 1, formado por 18 predios (Tabla 6). Tienen una alta frecuencia de soja (0,88) y una baja participación de las pasturas en la rotación (0,23). El conglomerado 2, se diferencia de éste únicamente por la intensidad de uso del suelo. A los efectos de la discusión, se los agrupará con los del conglomerado 1, identificándolos por la alta presencia de agricultura con alta frecuencia de soja CC\_C3.

El conglomerado 3 es un grupo en el cual la agricultura es importante (baja relación pastura/cultivo), pero se diferencia del conglomerado 1, en que la frecuencia de soja es baja. Como contrapartida, tienen relativamente alta frecuencia de cultivos con metabolismo C4. Por tanto se lo identifica como CC\_C4 alta presencia de agricultura con especies de metabolismo C4.

Los conglomerados 4 y 5 se unificaron, dado que su única diferencia fue la presencia de cultivos de cobertura invernal de leguminosa. Son sistemas con una alta frecuencia de soja, pero en el cual la pastura tiene mayor participación (PCR>1). Por esta característica se los identifica como rotación pasturas/cultivos (ROT\_PC).

**Tabla 6**

*Resumen de indicadores de uso del suelo para cada conglomerado en el periodo 2014-2018*

| <b>Conglomerado</b> | <b>n</b> | <b>PCR</b> | <b>ISI</b> | <b>SSbCF</b> | <b>CCLC</b> |
|---------------------|----------|------------|------------|--------------|-------------|
| 1                   | 18       | 0,23 b     | 0,88 b     | 0,88 ab      | 0,0 b       |
| 2                   | 2        | 0,12 b     | 0,72 c     | 0,74 b       | 0,0 b       |
| 3                   | 6        | 0,21 b     | 0,94 a     | 0,59 c       | 0,0 b       |
| 4                   | 1        | 1,49 a     | 0,93 ab    | 1,0 a        | 0,02 a      |
| 5                   | 7        | 1,08 a     | 0,96 a     | 0,92 a       | 0,0 b       |

*Nota.* Letras distintas dentro de columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). PCR = Relación pastura/cultivo; SSbCF = Frecuencia de soja en la fase agrícola de verano; ISI = intensidad de uso del suelo; CCLC = Proporción de cultivos de cobertura de leguminosa de invierno y verano sembrados durante el periodo en estudio.

Luego de esta fusión de conglomerados se realiza un análisis discriminante lineal para ver la posibilidad de error en la clasificación con esta nueva conformación.

**Tabla 7**

*Clasificación cruzada con tasa de error aparente para el periodo 2014-2018 con los nuevos grupos*

| <b>Grupo</b> | <b>1</b> | <b>3</b> | <b>5</b> | <b>Total</b> | <b>Error (%)</b> |
|--------------|----------|----------|----------|--------------|------------------|
| CC_C3 (1,2)  | 20       | 0        | 0        | 20           | 0.00             |
| CC_C4 (3)    | 0        | 6        | 0        | 6            | 0.00             |
| ROT_PC (4,5) | 0        | 0        | 8        | 8            | 0.00             |
| Total        | 20       | 6        | 8        | 34           | 0.00             |

*Nota.* Dentro de los paréntesis se identifican el número de conglomerados que conforman el grupo.

#### **4.2.2.2 Identificación de grupos de sistemas de cultivos periodo 2015-2019**

En la Tabla 8 muestra que El conglomerado 1 el cual abarca la mayor cantidad de SC, presenta alta frecuencia de soja y baja de pasturas perennes; el conglomerado 2, se diferencia en la intensidad de uso de suelo. Ambos pertenecen al grupo CC\_C3.

El conglomerado 4, conformado por 8 SC, incluye SC con baja frecuencia de soja en su fase agrícola, por lo que este es el grupo CC\_C4.

El conglomerado 5 formado por 6 SC, tienen una alta frecuencia de soja pero tienen un importante peso de las pasturas en su sistema al igual que el conglomerado 3. La diferencia está la participación de cultivos de cobertura de leguminosa. Ambos pertenecen al grupo ROT\_PC.

**Tabla 8**

*Resumen de indicadores de uso del suelo para cada conglomerado en el periodo 2015-2019*

| <b>Conglomerado</b> | <b>n</b> | <b>PCR</b> | <b>ISI</b> | <b>SSbCF</b> | <b>GWC</b> | <b>CCLC</b> |
|---------------------|----------|------------|------------|--------------|------------|-------------|
| 1                   | 21       | 0,31c      | 0,92a      | 0,91ab       | 0,15a      | 0,00048b    |
| 2                   | 1        | 0,49bc     | 0,70b      | 0,75bc       | 0,20a      | 0,00b       |
| 3                   | 2        | 0,77ab     | 0,95a      | 0,85ab       | 0,07b      | 0,03a       |
| 4                   | 8        | 0,2c       | 0,91a      | 0,62c        | 0,09b      | 0,00b       |
| 5                   | 6        | 1,14a      | 0,96a      | 0,96a        | 0,08b      | 0,00b       |

*Nota.* Letras distintas dentro de columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

PCR = Relación pastura/cultivo; SSbCF = Frecuencia de soja en la fase agrícola de verano; ISI = intensidad de uso del suelo; CCLC = Proporción de cultivos de cobertura de leguminosa de invierno y verano sembrados durante el período en estudio; GWC= Porcentaje de gramíneas de invierno.

**Tabla 9**

*Clasificación cruzada con tasa de error aparente para el periodo 2015-2019 con los nuevos grupos*

| <b>Grupo</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>Total</b> | <b>Error (%)</b> |
|--------------|----------|----------|----------|--------------|------------------|
| CC_C3 (1,2)  | 20       | 1        | 1        | 22           | 9.09             |
| CC_C4 (4)    | 0        | 8        | 0        | 8            | 0.00             |
| ROT_PC (3,5) | 0        | 0        | 8        | 8            | 5.26             |
| Total        | 20       | 9        | 9        | 38           | 5.26             |

*Nota.* Dentro de los paréntesis se identifican el número de conglomerados que conforman el grupo.

#### 4.2.2.3 Identificación de grupos de sistemas de cultivos periodo 2016-2020

En este periodo a diferencia de los anteriores el PCR no permite diferenciar los grupos.

El conglomerado que agrupa a la mayor parte de los sistemas es el conglomerado 4 con 32 SC, donde la frecuencia de soja es alta (grupo CC\_C3).

Los conglomerados 1, 2 y 3 se unieron, se diferencian el 2 y 3 del 1 por PP7. Siendo estos un grupo de baja frecuencia de soja, pero con una alta intensidad de uso del suelo (grupo ROT\_PC).

El Conglomerado 5 corresponde a los predios menos intensos, de baja frecuencia de soja (grupo CC\_C4).

**Tabla 10**

*Resumen de indicadores de uso del suelo para cada conglomerado en el periodo 2016-2020*

| <b>Conglomerado</b> | <b>n</b> | <b>PCR</b> | <b>ISI</b> | <b>SSbCF</b> | <b>PP4</b> | <b>PP7</b> | <b>CCLC</b> |
|---------------------|----------|------------|------------|--------------|------------|------------|-------------|
| 1                   | 3        | 0,87a      | 0,94a      | 0,80ab       | 0,06a      | 0,01a      | 0,00c       |
| 2                   | 2        | 0,87a      | 0,90a      | 0,60b        | 0,08a      | 0,00b      | 0,02b       |
| 3                   | 1        | 0,00a      | 1,00a      | 0,60b        | 0,09a      | 0,00b      | 0,08a       |
| 4                   | 32       | 0,45a      | 0,95a      | 0,87a        | 0,01b      | 0,00b      | 0,0022c     |
| 5                   | 3        | 0,11a      | 0,76b      | 0,61b        | 0,01b      | 0,00b      | 0,00c       |

*Nota.* Letras distintas dentro de columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). PCR = Relación pastura/cultivo; SSbCF = Frecuencia de soja en la fase agrícola de verano; ISI = intensidad de uso del suelo; CCLC = Proporción de cultivos de cobertura de leguminosa de invierno y verano sembrados durante el período en estudio; PP4 = Porcentaje de pasturas de cuatro años; PP7 = Porcentaje de pasturas de siete años.

**Tabla 11**

*Clasificación cruzada con tasa de error aparente para el periodo 2016-2020 con los nuevos grupos*

| <b>Grupo</b>   | <b>1</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>Total</b> | <b>Error (%)</b> |
|----------------|----------|----------|----------|--------------|------------------|
| ROT_PC (1,2,3) | 6        | 0        | 0        | 6            | 0.00             |
| CC_C3 (4)      | 0        | 32       | 0        | 32           | 0.00             |
| CC_C4(5)       | 0        | 0        | 3        | 3            | 0.00             |
| Total          | 6        | 32       | 3        | 41           | 0.00             |

*Nota.* Dentro de los paréntesis se identifican el número de conglomerados que conforman el grupo.

#### **4.2.2.4 Identificación de grupos de sistemas de cultivos periodo 2017-2021**

**Tabla 12**

*Resumen de indicadores de uso del suelo para cada conglomerado en el periodo 2017-2021*

| <b>Conglomerado</b> | <b>n</b> | <b>PCR</b> | <b>IAFI</b> | <b>ISI</b> | <b>SSbCF</b> | <b>PP7</b> |
|---------------------|----------|------------|-------------|------------|--------------|------------|
| 1                   | 33       | 0,44a      | 1,52a       | 0,95a      | 0,84ab       | 0,00091c   |
| 2                   | 2        | 0,29a      | 1,17b       | 0,99a      | 0,56c        | 0,00c      |
| 3                   | 1        | 0,80a      | 1,36ab      | 0,90a      | 0,63bc       | 0,03a      |
| 4                   | 2        | 0,79a      | 1,48a       | 0,99a      | 0,98a        | 0,02b      |
| 5                   | 3        | 0,17a      | 1,36ab      | 0,78b      | 0,62c        | 0,00c      |

*Nota.* Letras distintas dentro de columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

PCR = Relación pastura/cultivo; SSbCF = Frecuencia de soja en la fase agrícola de verano; ISI = intensidad de uso del suelo; IAFI= Número de cultivos comerciales plantados por año en la fase agrícola; PP7 = Porcentaje de pasturas de siete años.

En este periodo la relación pastura cultivos deja de ser diferente entre los conglomerados, por lo cual los sistemas que anteriormente pertenecían al grupo ROT\_PC los cuales el componente pastura era muy importante, en su mayoría se unificaron con los del grupo CC\_C3 dado que estos aumenta la fase de pasturas y se vuelven muy similares.

El conglomerado 1 que abarca 33 sistemas de cultivos es de alta frecuencia de soja junto con el 4 su diferencia está en la PP7, son el grupo CC\_C3.

Los sistemas de baja frecuencia de soja, los cuales pertenecían al grupo CC\_C4, se logran diferenciar por la intensidad de uso del suelo. El conglomerado 5 es de baja frecuencia de soja y baja intensidad de uso de suelo, se le llamará CC\_C4\_B. El conglomerado 2 también es de baja frecuencia de soja pero la intensidad de uso es mayor, estos serán el grupo CC\_C4\_A.

El conglomerado 3 presenta un solo SC es de baja SSbCF, la intensidad de suelo es alta se probó agrupar con el conglomerado 5 y con el 2. Se decidió unificar al 5 dado que la tasa de error fue menor.

### Tabla 13

*Clasificación cruzada con tasa de error aparente en periodo 2017-2021 con los nuevos grupos*

| <b>Grupo</b>  | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>5</b> | <b>Total</b> | <b>Error (%)</b> |
|---------------|----------|----------|----------|--------------|------------------|
| CC_C3 (1,4)   | 34       | 1        | 0        | 35           | 2.86             |
| CC_C4_A (2)   | 0        | 2        | 0        | 2            | 0.00             |
| CC_C4_B (3,5) | 0        | 0        | 4        | 4            | 0.00             |
| Total         | 34       | 3        | 4        | 41           | 2.44             |

*Nota.* Dentro de los paréntesis se identifican el número de conglomerados que conforman el grupo.

#### 4.2.2.5 Identificación de grupos de sistemas de cultivos periodo 2018-2022

**Tabla 14**

*Resumen de indicadores de uso del suelo para cada conglomerado en el periodo 2018-2020*

| <b>Conglomerado</b> | <b>n</b> | <b>PCR</b> | <b>IAFI</b> | <b>ISI</b> | <b>SSbCF</b> | <b>PP5</b> |
|---------------------|----------|------------|-------------|------------|--------------|------------|
| 1                   | 31       | 0,43a      | 1,58ab      | 0,96a      | 0,85ab       | 0,02b      |
| 2                   | 1        | 0,80a      | 1,08d       | 1,00a      | 0,66bc       | 0,06a      |
| 3                   | 3        | 0,40a      | 1,44bc      | 0,97a      | 0,58c        | 0,02ab     |
| 4                   | 5        | 0,21a      | 1,39c       | 0,84b      | 0,64c        | 0,00b      |
| 5                   | 1        | 0,13a      | 1,78a       | 0,90ab     | 1,00a        | 0,06a      |

*Nota.* Letras distintas dentro de columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

PCR = Relación pastura/cultivo; SSbCF = Frecuencia de soja en la fase agrícola de verano; ISI = intensidad de uso del suelo; IAFI=Número de cultivos comerciales plantados por año en la fase agrícola; PP5 =Porcentaje de pasturas de 5 años.

La SSbCF al igual que PCR viene homogeneizando a toda la población. El conglomerado 1 y 5 presenta alta SSbCF pertenecen al grupo CC\_C3. El conglomerado 4 presenta baja SSbCF y menor ISI siendo este el grupo CC\_C4\_B. El conglomerado 3 y 2 presentan baja SSbCF y alta ISI representando al grupo CC\_C4\_A.

**Tabla 15**

*Clasificación cruzada con tasa de error aparente para el periodo 2018-2022 con los nuevos grupos*

| <b>Grupo</b>  | <b>1</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>Total</b> | <b>Error (%)</b> |
|---------------|----------|----------|----------|--------------|------------------|
| CC_C3 (1,5)   | 30       | 1        | 1        | 32           | 6.25             |
| CC_C4_A (3,2) | 0        | 4        | 0        | 4            | 0.00             |
| CC_C4_B (4)   | 0        | 0        | 5        | 5            | 0.00             |
| Total         | 30       | 5        | 6        | 41           | 4.88             |

*Nota.* Dentro de los paréntesis se identifican el número de conglomerados que conforman el grupo.

### 4.3 TRAYECTORIA DE LOS GRUPOS Y DE LOS SISTEMAS DE CULTIVOS

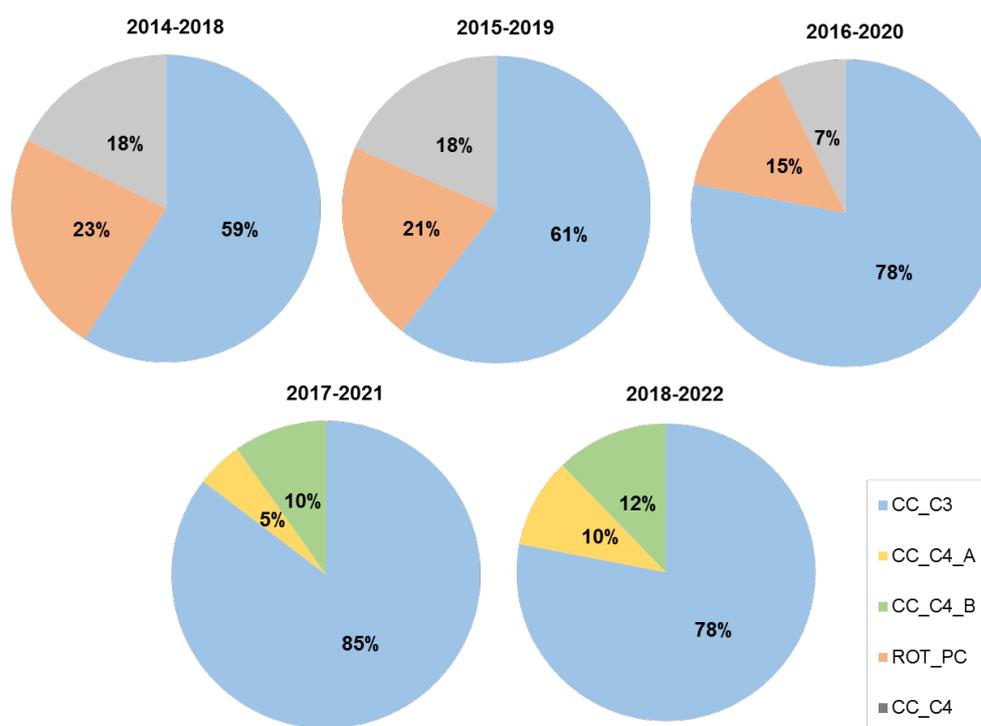
#### 4.3.1 Trayectoria de los grupos

A lo largo de los periodos analizados, siempre se identificó un grupo de predios cuyo sistema de cultivo predominante se caracterizada por la baja participación de pasturas y alta frecuencia de soja en la rotación (CC\_C3). Siendo ya el sistema de cultivos dominante a inicio del período de estudio (2014-2018), tuvo un aumento de aproximadamente un 20% a partir del periodo 2015-2019, llegando a 78% de los predios del periodo 2016-2020.

Respecto a CC\_C4, su implementación fluctuó a lo largo de los periodos analizados, nunca superando el 25% de los predios. Esta fluctuación se explica principalmente por la migración de predios desde CC\_C3, o viceversa. A su vez en los últimos 2 periodos estudiados este grupo se pudo diferenciar entre los que se caracterizaron por una alta intensidad de uso del suelo (CC\_C4\_A) y baja intensidad (CC\_C4\_B), lo cual resultó de incluir o no cultivos de servicio en la secuencia.

#### Figura 3

Composición de los distintos grupos de sistemas identificados para cada periodo de estudio



#### 4.3.2 Trayectoria de los sistemas de cultivos y sus componentes

Los grupos se distinguen por el uso del suelo, identificado a través de indicadores. Para su representación, se seleccionaron aquellos que presentaron

diferencias significativas entre grupos en al menos un periodo de tiempo evaluado. Estos indicadores son el PCR, ISI, SSbCF y IAFI.

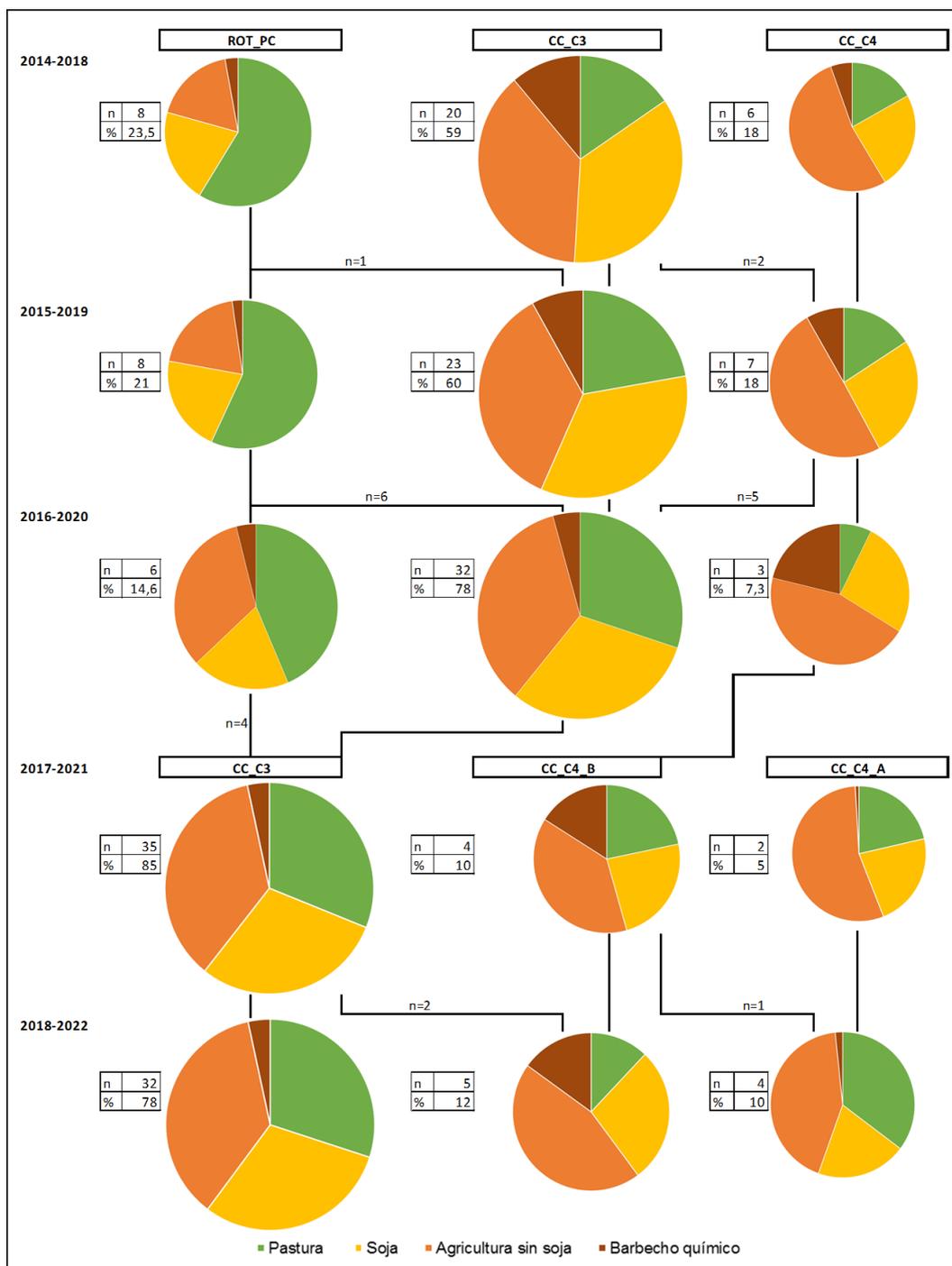
Con el transcurso del tiempo, el grupo ROT\_PC experimentó una marcada disminución en la proporción de tiempo en que el suelo estuvo bajo pasturas, alargando la fase agrícola. Por otro lado, el grupo CC\_C3 mostró una tendencia inversa, con un aumento en la presencia de pasturas y disminución en la superficie afectada a la agricultura, acompañado de un aumento en la intensidad de uso del suelo y, por tanto, reduciendo el tiempo de barbecho.

A partir del periodo 2016-2020, la relación pasturas cultivos dejó de ser un indicador de uso del suelo con capacidad de diferenciar sistemas de cultivos. Esta pérdida (traducida en no significancia de su efecto en el análisis discriminante) se explica porque todos los grupos identificados implementaron una fase de pasturas. Aquellos que al inicio del período tenían más pasturas (ROT\_PC), la redujeron al final del período y los que tenían menos al inicio del período de estudio (CC\_C3) lo incrementaron. El grupo CC\_C4, que migró a CC\_C4B, a su vez, es el único que redujo la proporción de la superficie bajo pasturas. En el periodo 2017-2021 existió una migración de productores que conformaban el grupo ROT\_PC al CC\_C3. A su vez, a partir de este periodo, los productores que originalmente pertenecían a estos dos grupos (ROT\_PC y CC\_C3) quedaron agrupados en un único grupo (CC\_C3). Este sistema de cultivos integra al final del período a la mayoría de los productores.

Respecto al grupo CC\_C4, el cual lo implementó la menor cantidad de productores, a partir del periodo 2017-2021, pasaron a formar dos grupos, el grupo CC\_C4\_B, en los cuales el componente gramínea en verano es mayor pero con baja intensidad en el uso del suelo, por tanto, mayor proporción de tiempo en barbecho y CC\_C4\_A, con menor presencia de soja, pero con una intensidad de uso de suelo alta, caracterizado por mayor ISI.

Figura 4

## Trayectoria de los grupos de sistemas de cultivos identificados



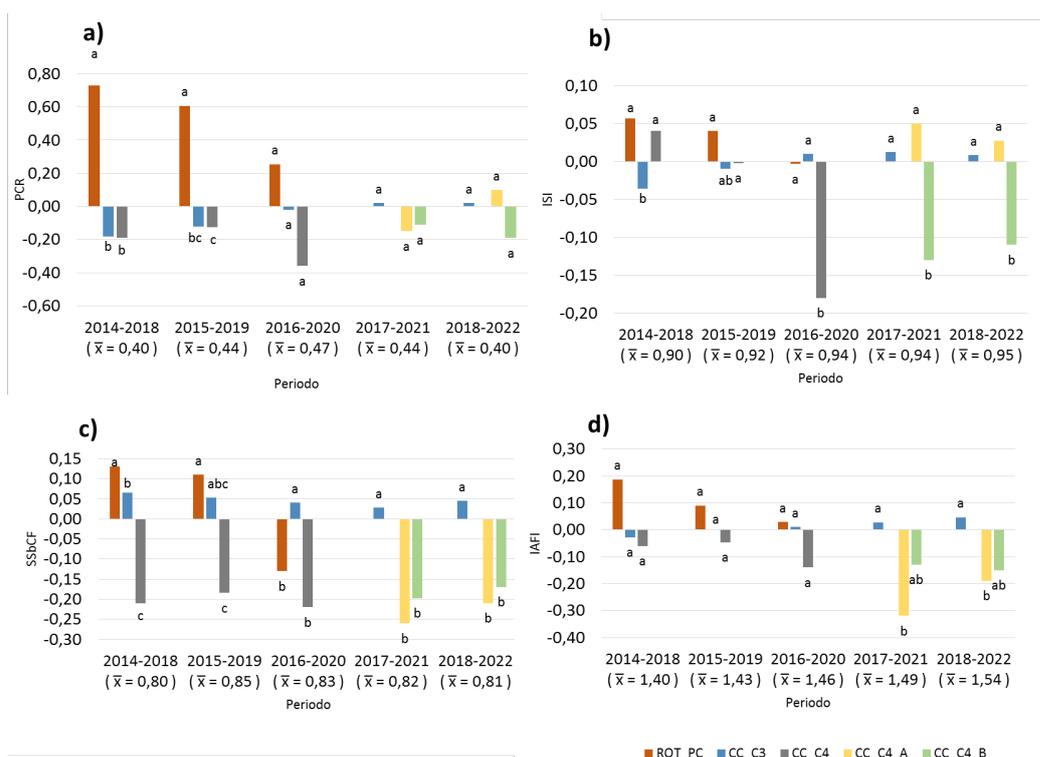
Nota. Horizontalmente se muestran los distintos periodos de estudio (2014-2018, 2015-2019, 2016-2020, 2017-2021, 2018-2022). Acompañando cada gráfico, se presenta una tabla a su izquierda que indica la cantidad (n) de predios que lo componen, el porcentaje (%) que representan del total de sistemas evaluados para ese periodo, reflejado a su vez en el tamaño de la gráfica.

### 4.3.3 Evolución de los principales indicadores de uso del suelo a nivel predial y sus implicancias

En la Figura 5 podemos ver la evolución de los principales indicadores de uso de suelo, se presenta el desvío de cada grupo con relación al valor medio de cada período, que corresponde al valor cero en el eje de la ordenada.

**Figura 5**

*Evolución de los principales indicadores de uso de suelo*



**Nota.** a) Relación pastura/Cultivo. b) Intensidad de uso de suelo. c) Frecuencia de Soja. d) Intensidad de la fase agrícola. Letras distintas dentro de un mismo período indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

La PCR promedio se mantuvo en torno a 0,4 en todo el período (Tabla 4), pero como consecuencia de SC con proporciones marcadamente diferentes hasta el quinquenio 2016-2020 (Figura No 5.a). A partir de 2017-2021 el indicador no permitió discriminar grupos, lo que implica que los SC se fueron homogeneizando en cuanto al uso del suelo bajo fase pasturas.

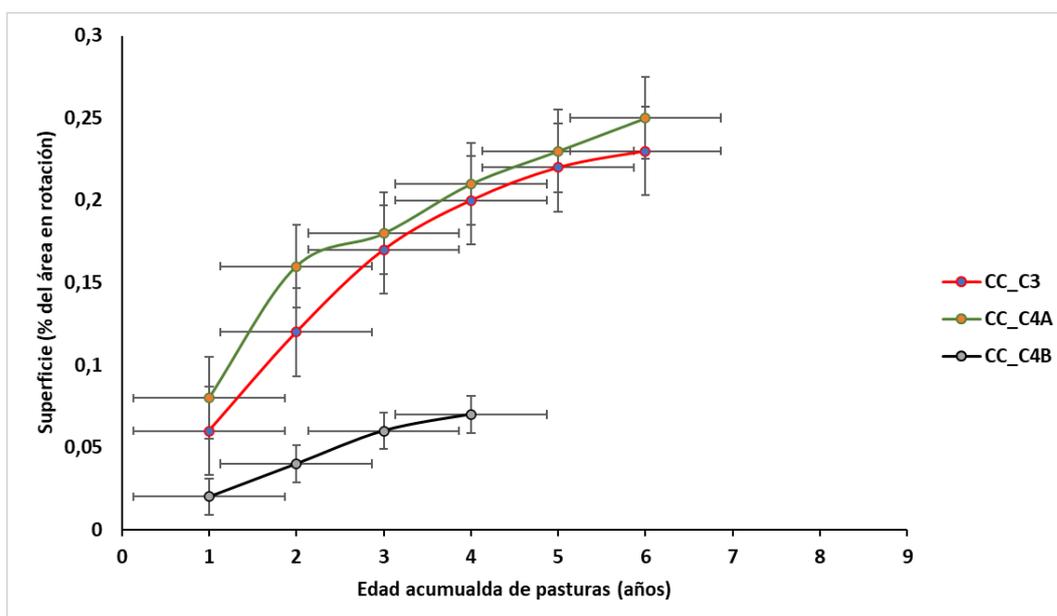
En los grupos en los que las pasturas eran un componente relevante (ROT\_PC), se redujo su participación, mientras que en aquellos en los que lo eran menos (CC\_C3

y CC\_C4), fueron ganando importancia relativa, por tanto, el indicador perdió capacidad de diferenciar SC.

El indicador PCR fue seleccionado por su amplio uso en la bibliografía, pero está altamente correlacionado con la duración y composición de la fase pasturas (Apéndices). Al final del período evaluado (2017-2022), la superficie bajo pasturas estuvo compuesta por pasturas de más años de duración, lo que podría sugiere que parte de la superficie que se sembró con pasturas ya no volvió a una fase agrícola, o que se implementaron sub sistemas con PCR diferente dentro del predio. Esta tendencia ha sido identificada por Ernst et al. (2022), demostrando que la fase pasturas dentro de cada predio se implementó en los suelos con menor capacidad de uso. En la Figura 6 se presenta la estructura de edad de pasturas de los grupos identificados en el último período.

**Figura 6**

*Estructura de edad de las pasturas dentro de los SC*



*Nota.* CC\_C3= cultivo continuo con alta frecuencia de soja; CC\_C4A= cultivo continuo con cultivos metabolismo C<sub>4</sub> dentro de la secuencia y alta intensidad de uso del suelo; CC\_C4B= cultivo continuo con cultivos metabolismo C<sub>4</sub> dentro de la secuencia, pero baja intensidad de uso del suelo.

Cruces= error estándar

Mientras que los SC CC\_C3 y CC4A tienen un área de “pasturas largas” ( 6 y más años) , CC\_C4B son cortas (hasta 3-4 años). Para generar la relación PCR de los

SC CC\_C4B (Tabla 14), la duración de la fase agrícola debería ser de 19 años lo cual implica que, en realidad, están compuestos por superficies con diferente SC.

Para identificarlos sería necesaria información georeferenciada, lo cual no estuvo disponible para este trabajo.

La intensidad de uso del suelo muestra una tendencia al aumento (Tabla No 4), partiendo de una media de 0.9 y llegando a un valor de 0.95. Cuando observamos los distintos grupos (Figura No 5.b), existe una disminución en el indicador dentro del grupo ROT\_PC, explicado por la reducción en la importancia de las pasturas. También es notable que el grupo con una alta frecuencia de soja (CC\_C3) aumentó su intensidad de uso, lo que explica en gran medida el incremento en la media de este indicador en el tiempo, ya que este grupo cuenta con un gran número de sistemas, debido a un aumento de la fase de pasturas. El grupo que presenta una importante fase agrícola, pero con incorporación de especies de metabolismo C4 en la fase estival de baja intensidad (CC\_C4\_B) muestra una menor intensidad de uso del suelo, al representar sólo el 13% del total, no genera una tendencia a la baja en la media del indicador.

La frecuencia de soja se mantuvo relativamente constante a lo largo del período de estudio, con un valor de 0,8 (Tabla No 4), pero el grupo ROT\_PC experimentó una disminución en el indicador (Figura No 5.c). Inicialmente, durante los periodos 2014-2018 y 2015-2019, mostraba valores por encima de la media, pero en el periodo 2016-2020 sus valores pasan a estar por debajo, explicado porque a medida que transcurre el tiempo los grupos se van uniformizando en el uso del suelo y los sistemas van migrando al grupo CC\_C3. Los SC que aún se mantienen en el grupo ROT\_PC son los que tienen los manejos más contrastantes. Estos productores (n=6), cuya frecuencia de soja estaba por debajo de la media, se integraron al grupo CC\_C3 a partir del periodo 2017-2021, mientras que dos, al incorporar cultivos de maíz y sorgo en la secuencia, pasaron al grupo de CC\_C4\_B.

La intensidad de la fase agrícola ha aumentado en los últimos dos periodos estudiados (2017-2021 y 2018-2022), siendo una variable crucial para distinguir los SC de los Grupos. Esto es favorable para la sostenibilidad de los sistemas, dado que una mayor intensidad genera un mayor aprovechamiento de los recursos generando una mayor eficiencia en su uso.

Aquellos que incluyen especies con metabolismo C4, como el maíz, muestran menor IAFI, Este cambio estaría explicado por las características del rastrojo que dejan estos cultivos.

Esta tendencia observada a una intensificación en la actividad agrícola y del uso del suelo, son prácticas que contribuye a mejorar la productividad de la tierra (Caviglia et al., 2004; Caviglia & Andrade, 2010; Van Opstal et al., 2011) mejorando la sostenibilidad en las prácticas agronómicas.

Estos cambios en el uso del suelo pueden estar explicadas por el cambio en la estrategia de las grandes empresas que se ha dado en el proceso de retracción identificado por Arbeleche y Pintos (2022) en la segunda mitad de la década 2010/20, por lo que se debe prestar atención ante posibles cambios en las condiciones externas al país.

## **5. CONCLUSIONES**

Si bien el uso del suelo de la superficie total abarcada por los predios bajo estudio mostró una estabilidad en los indicadores globales, lo que sugiere una relativa estabilidad en las prácticas agronómicas en la región de estudio, se identificaron grupos de predios con uso del suelo contrastantes. Estos grupos de sistemas de cultivos (SC) siguieron trayectorias diferentes, finalizando el período en estudio con un uso del suelo más homogéneo entre sí que al inicio.

El análisis muestra que los productores están adoptando un paquete tecnológico más sostenible desde el punto de vista del diseño del SC, generando mayor diversidad dentro de los predios. Aquellos SC identificados al inicio del período de estudio con alta frecuencia de soja y largos períodos de barbecho migraron a SC que incorporaron otros cultivos y pasturas perennes.

Los cambios identificados sugieren una mejora en la eficiencia de utilización de los recursos y reducción de impactos negativos, por lo que se concluye que los SC de región estudiada está transitando hacia sistemas más sostenibles.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 869-890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Alvarez, S., & Ernst, O. (2024). Impact of cropping systems on soil quality. *European Journal of Agronomy*, 158, Artículo e127197. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127197>
- Andrade, J. F., Poggio, S. L., Ermácora, M., & Satorre, E. H. (2015). Productivity and resource use in intensified cropping systems in the Rolling Pampa, Argentina. *European Journal of Agronomy*, 67, 37-51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.03.001>
- Andrade, J. F., & Satorre, E. H. (2015). Single and double crop systems in the Argentine Pampas: Environmental determinants of annual grain yield. *Field Crops Research*, 177, 137-147. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.008>
- 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., & Gutiérrez, G. (2010). Crecimiento de la agricultura en Uruguay: Exclusión social o integración económica en redes. *Pampa*, (6), 113-138. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2314-02082010000100006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-02082010000100006&lng=es&tlng=es)
- Arbeletche, P., & Pintos, M. (2022). Dinámica del agronegocio agrícola en Uruguay: Desde la concentración productiva hacia la desconcentración. *Gestión I+D*, 8(1), 108-135. [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_GID/article/view/25178/144814491462](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_GID/article/view/25178/144814491462)

- Beillouin, D., Ben-Ari, T., Malézieux, E., Seufert, V., & Makowski, D. (2021). Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Global Change Biology*, 27(19), 4697-4710.  
<https://doi.org/10.1111/gcb.15747>
- Blanco-Canqui, H., Shapiro, C. A., Wortmann, C. S., Drijber, R. A., Mamo, M., Shaver, T. M., & Ferguson, R. B. (2013). Soil organic carbon: The value to soil properties. *Journal of Soil and Water Conservation*, 68(5), 129A-134A.  
<https://doi.org/10.2489/jswc.68.5.129A>
- Campbell, C. A., & Zentner, R. P. (1993). Soil organic matter as influenced by crop rotations and fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 57(4), 1034-1040. <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700040026x>
- Caviglia, O., & Andrade, F. (2010). Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean pampas: Capture and use efficiency of environmental resources. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnololy*, 3(si1), 1-8.
- Caviglia, O., Sadras, V., & Andrade, F. (2004). Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas: I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat–soybean. *Field Crops Research*, 87(2-3), 117-129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.10.002>
- Ernst, O. R., Dogliotti, S., Cadenazzi, M., & Kemanian, A. R. (2018). Shifting crop-pasture rotations to no-till annual cropping reduces soil quality and wheat yield. *Field Crops Research*, 217, 180-187. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.014>
- Ernst, O. R., Kemanian, A. R., Mazzilli, S., Siri-Prieto, G., & Dogliotti, S. (2020). The dos and don'ts of no-till continuous cropping: Evidence from wheat yield and nitrogen use efficiency. *Field Crops Research*, 257, Artículo e107934.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107934>
- Ernst, O. R., & Siri-Prieto, G. (2008). Sistemas de laboreo y rotación de cultivos en Uruguay: Resumen de resultados. *Cangüé*, (30), 2-8.  
[https://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/Cangue\\_30/2-8.pdf](https://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/Cangue_30/2-8.pdf)

- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Franzluebbers, A. J., Sawchik, J., & Taboada, M. A. (2014). Agronomic and environmental impacts of pasture–crop rotations in temperate North and South America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.017>
- Girardin, P., Bockstaller, C., & Van der Werf, H. (1999). Indicators: Tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 13(4), 5-21. [https://doi.org/10.1300/J064v13n04\\_03](https://doi.org/10.1300/J064v13n04_03)
- Gomez, A. A., Sweet Kelly, D. A., Syers, J. K., & Coughlan, K. J. (1996). Measuring sustainability of agricultural system at the farm level. En J. W. Doran & A. J. Jones (Eds.), *Methods for assessing soil quality* (pp. 401-410). SSSA.
- Guibert, M., Grosso, S., Arbeletche, P., & Bellini, M. E. (2011). De Argentina a Uruguay: Espacios y actores en una nueva lógica de producción agrícola. *Pampa*, (7), 13-38. <https://shs.hal.science/halshs-00717379v1>
- Lal, R., Kimble, J. M., Follett, R. F., & Colet, C. V. (1998). *The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*. CRC.
- Lin, B. (2011). Resilience in agriculture through crop diversification: Adaptive management for environmental change. *BioScience*, 61(3), 183-193. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.4>
- Mazzilli, S. R., & Ernst, O. R. (2019). Soybean yield increases when maize is included in the cropping system. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 2(1), Artículo e180033. <https://doi.org/10.2134/age2018.09.0033>

- Naylor, R. L. (2009). Managing food production systems for resilience. En C. Folke, G. P. Kofinas, & F. S. Chapin (Eds.), *Principles of ecosystem stewardship: Resilience-based natural resource management in a changing world* (pp. 259-280). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-73033-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-0-387-73033-2_12)
- Nicholls, C., Altieri, M., & Vázquez, L. (2017). Agroecological principles for the conversion of farming systems: Principles, applications, and making the transition. En A. Wezel (Ed.), *Agroecological practices for sustainable agriculture* (pp. 1-18). World Scientific. [https://doi.org/10.1142/9781786343062\\_0001](https://doi.org/10.1142/9781786343062_0001)
- Novelli, L. E., Caviglia, O. P., & Melchiori, R. J. M. (2011). Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma*, 167-168, 254-260. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.09.015>
- Novelli, L. E., Caviglia, O. P., & Piñeiro, G. (2017). Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks. *Soil and Tillage Research*, 165, 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.08.008>
- Novelli, L. E., Caviglia, O. P., Wilson, M. G., & Sasal, M. C. (2013). Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. *Geoderma*, 195-196, 260-267. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.12.013>
- Østergaard, V. (1995). Indicators to describe sustainability in dairy farming. En W. Luten, H. Snoek, S. Schukking, & M. Verboon (Eds.), *Proceedings of the Symposium: Applied research for sustainable dairy farming* (pp. 94-97). <https://edepot.wur.nl/30931>

- Østergård, H., Finckh, M. R., Fontaine, L., Goldringer, I., Hoad, S. P., Kristensen, K., Lammerts van Bueren, E. T., Mascher, F., Munk, L., & Wolfe, M. S. (2009). Time for a shift in crop production: Embracing complexity through diversity at all levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(9), 1439-1445.  
<https://doi.org/10.1002/jsfa.3615>
- Peralta, N., & Costa, J. (2013). Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 99, 218-226.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.09.014>
- Piutti, S., Romillac, N., Chanseume, A., Slezack-Deschaumes, S., Manneville, V., & Amiaud, B. (2015). Enjeux et contributions des prairies temporaires pour améliorer la fertilité des sols. *Fourrages*, (223), 179-187.
- Rubio, V., Sawchik, J., & Van Es, H. (2022). Soil health benefits from sequence intensification, fertilization, and no-tillage in annual cropping systems. *Soil Security*, 9, Artículo e100074. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100074>
- Russelle, M., Entz, M., & Franzluebbers, A. (2007). Reconsidering integrated crop–livestock systems in North America. *Agronomy Journal*, 99(2), 325-334.  
<https://doi.org/10.2134/agronj2006.0139>
- Sanford, G. R., Jackson, R. D., Booth, E. G., Hedtcke, J. L., & Picasso, V. (2021). Perenniality and diversity drive output stability and resilience in a 26-year cropping systems experiment. *Field Crops Research*, 263, Artículo e108071.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108071>
- Sasal, M. C., Boizard, H., Andriulo, A. E., Wilson, M. G., & Léonard, J. (2017). Platy structure development under no-tillage in the northern humid Pampas of Argentina and its impact on runoff. *Soil and Tillage Research*, 173, 33-41.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2016.08.014>

- Sokal, R., & Michener, C. (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. *The University of Kansas Science Bulletin*, 38(22), 1409-1438.  
[https://ia800703.us.archive.org/5/items/cbarchive\\_33927\\_astatisticalmethodforevaluatin1902/astatisticalmethodforevaluatin1902.pdf](https://ia800703.us.archive.org/5/items/cbarchive_33927_astatisticalmethodforevaluatin1902/astatisticalmethodforevaluatin1902.pdf)
- Stevenson, B., McNeill, S., & Hewitt, A. (2015). Characterising soil quality clusters in relation to land use and soil order in New Zealand: An application of the phenoform concept. *Geoderma*, 239-240, 135-142.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.10.003>
- Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T. C., Kremen, C., Van der Heijden, M. G. A., Liebman, M., & Hallin, S. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advance*, 6(45), eaba1715. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1715>
- Tiemann, L. K., Grandy, A. S., Atkinson, E. E., MarinSpiotta, E., & McDaniel, M. D. (2015). Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. *Ecology Letters*, 18(8), 761-771.  
<https://doi.org/10.1111/ele.12453>
- Van Eekeren, N., Bommel , L., Bloem, J., Schouten, T., Rutgers, M., De Goede, R., Reheul, D., & Brussaard, L. (2008). Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Applied Soil Ecology*, 40(3), 432-446. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.06.010>
- Van Opstal, N., Caviglia, O., & Melchiori, R. (2011). Water and solar radiation productivity of double-crops in a humid temperate area. *Australian Journal of Crop Science*, 5(13), 1760-1766.  
[https://www.researchgate.net/publication/281198104\\_Water\\_and\\_solar\\_radiation\\_productivity\\_of\\_double-crops\\_in\\_a\\_humid\\_temperate\\_area](https://www.researchgate.net/publication/281198104_Water_and_solar_radiation_productivity_of_double-crops_in_a_humid_temperate_area)

- Viaud, V., Santillàn-Carvantes, P., Akkal-Corfini, N., Le Guillou, C., Prévost-Bouré, N. C., Ranjard, L., & Menasseri-Aubry, S. (2018). Landscape-scale analysis of cropping system effects on soil quality in a context of crop-livestock farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 265, 166-177.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.018>
- Viglizzo, E. F., Frank, F., Bernardos, J., Buschiazzi, D. E., & Cabo, S. (2006). A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117(1), 109-134. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-7981-y>
- Wright, A. L., & Hons, F. M. (2004). Soil aggregation and carbon and nitrogen storage under soybean cropping sequences. *Soil Science Society of America Journal*, 68(2), 507-513. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.5070>

## 7. ANEXOS

### Anexo A

#### *Resumen de la información de uso del suelo para el período 2014-2018*

| <b>Símbolo</b> | <b>Unidad</b> | <b>Media</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> | <b>Mediana</b> |
|----------------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| TC             | #             | 5,77±1       | 3,38          | 8             | 5,8            |
| TP             | #             | 1,6±1,65     | 0             | 5,17          | 1,25           |
| PCR            | #             | 0,4±0,45     | 0             | 1,49          | 0,29           |
| YC             | #             | 4±0,83       | 2,42          | 5             | 4,38           |
| IAFI           | #             | 1,4±0,2      | 1,15          | 2             | 1,38           |
| ISI            | %             | 90±7         | 68            | 100           | 90             |
| SbC            | #             | 3,4±0,76     | 1,67          | 5             | 3,37           |
| TSC            | #             | 4±0,79       | 2,45          | 5,03          | 4,31           |
| SSbCF          | #             | 0,8±0,15     | 0,5           | 1             | 0,86           |
| GWC            | %             | 13±6         | 2             | 30            | 13             |
| LWC            | %             | 0±2          | 0             | 8             | 0              |
| BWC            | %             | 2±3          | 0             | 14            | 0              |
| GSC            | %             | 7±7          | 0             | 25            | 6              |
| LSC            | %             | 31±9         | 16            | 50            | 31             |
| BSC            | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| ASC            | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| PP1            | %             | 7±7          | 0             | 23            | 7              |
| PP2            | %             | 6±7          | 0             | 23            | 4              |
| PP3            | %             | 5±5          | 0             | 15            | 3              |
| PP4            | %             | 1±2          | 0             | 7             | 0              |
| PP5            | %             | 0±1          | 0             | 4             | 0              |
| PP6            | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| PP7            | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| PP8            | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| FI             | %             | 3±7          | 0             | 40            | 0              |
| Fallow         | %             | 9±7          | 0             | 28            | 9              |
| CCGC           | %             | 15±10        | 0             | 36            | 14             |
| CCLC           | %             | 0±0          | 0             | 2             | 0              |
| CCGLC          | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| CC             | %             | 15±10        | 0             | 36            | 14             |
| IS             | #             | 0,93±0,41    | 0             | 1,61          | 0,91           |

*Nota.* TC= Número total cultivos de renta; TP = Tiempo en pasturas; PCR= Relación pastura/cultivo; YC= Años de agricultura; IAFI = Intensidad de cultivos de la fase agrícola; ISI= Intensidad de uso del suelo; SbC= Número de cultivos de soja; TSC=Número de cultivos de renta de verano;SSbCF= Frecuencia de soja en verano; GWC= Porcentaje de cultivos gramínea de invierno; LWC= Porcentaje de cultivos leguminosa de invierno; BWC= Porcentaje de cultivos brassica de invierno; GSC=

Porcentaje de cultivos gramínea de verano; LSC= Porcentaje de cultivos leguminosa de verano; BSC=Porcentaje de cultivos brassica de verano; ASC=Porcentaje de cultivos asteraceas de verano; PP1= Porcentaje de pasturas de un año; PP2=Porcentaje de pasturas de dos años; PP3= Porcentaje de pasturas de tres años; PP4= Porcentaje de pasturas de cuatro años; PP5= Porcentaje de pasturas de cinco años; PP6= Porcentaje de pasturas de seis años; PP7= Porcentaje de pasturas de siete años; PP8= Porcentaje de pasturas de ocho años; FI= Porcentaje de mejoramiento; Fallow= Porcentaje de barbecho de verano o invierno; CCGC= Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea; CCLC=Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa; CCGLC= Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla; CC= Porcentaje de cultivos de cobertura; IS= Índice de Shannon.

**Anexo B***Resumen de la información de uso del suelo para el período 2015-2019*

| <b>Símbolo</b> | <b>Unidad</b> | <b>Media</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> | <b>Mediana</b> |
|----------------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| TC             | #             | 5,74±1,04    | 3,52          | 8             | 5,92           |
| TP             | #             | 1,7±1,64     | 0             | 5,45          | 1,61           |
| PCR            | #             | 0,44±0,43    | 0             | 1,48          | 0,41           |
| YC             | #             | 4,08±0,87    | 2,28          | 5             | 4,14           |
| IAFI           | #             | 1,43±0,19    | 1,16          | 2             | 1,38           |
| ISI            | %             | 92±6         | 70            | 100           | 92             |
| SbC            | #             | 3,41±0,89    | 1,73          | 5             | 3,31           |
| TSC            | #             | 4,07±0,89    | 2             | 5,4           | 4,22           |
| SSbCF          | #             | 0,85±0,15    | 0,51          | 1             | 0,92           |
| GWC            | %             | 13±6         | 1             | 22            | 12             |
| LWC            | %             | 1±2          | 0             | 7             | 0              |
| BWC            | %             | 2±3          | 0             | 10            | 1              |
| GSC            | %             | 6±7          | 0             | 25            | 3              |
| LSC            | %             | 31±10        | 14            | 50            | 30             |
| BSC            | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| ASC            | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| PP1            | %             | 7±6          | 0             | 20            | 6              |
| PP2            | %             | 7±7          | 0             | 26            | 6              |
| PP3            | %             | 5±5          | 0             | 20            | 4              |
| PP4            | %             | 2±2          | 0             | 7             | 1              |
| PP5            | %             | 1±1          | 0             | 5             | 0              |
| PP6            | %             | 0±1          | 0             | 3             | 0              |
| PP7            | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| PP8            | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| FI             | %             | 2±7          | 0             | 40            | 0              |
| Fallow         | %             | 7±6          | 0             | 27            | 7              |
| CCGC           | %             | 15±10        | 0             | 35            | 15             |
| CCLC           | %             | 0±1          | 0             | 3             | 0              |
| CCGLC          | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| CC             | %             | 15±10        | 0             | 35            | 15             |
| IS             | #             | 0,95±0,45    | 0             | 1,72          | 0,99           |

*Nota.* TC= Número total cultivos de renta; TP = Tiempo en pasturas; PCR= Relación pastura/cultivo; YC= Años de agricultura; IAFI = Intensidad de cultivos de la fase agrícola; ISI= Intensidad de uso del suelo; SbC= Número de cultivos de soja; TSC=Número de cultivos de renta de verano;SSbCF= Frecuencia de soja en verano; GWC= Porcentaje de cultivos gramínea de invierno; LWC= Porcentaje de cultivos leguminosa de invierno; BWC= Porcentaje de cultivos brassica de invierno; GSC= Porcentaje de cultivos gramínea de verano; LSC= Porcentaje de cultivos leguminosa

de verano; BSC=Porcentaje de cultivos brassica de verano; ASC=Porcentaje de cultivos asteraceas de verano; PP1= Porcentaje de pasturas de un año; PP2=Porcentaje de pasturas de dos años; PP3= Porcentaje de pasturas de tres años; PP4= Porcentaje de pasturas de cuatro años; PP5= Porcentaje de pasturas de cinco años; PP6= Porcentaje de pasturas de seis años; PP7= Porcentaje de pasturas de siete años; PP8= Porcentaje de pasturas de ocho años; FI= Porcentaje de mejoramiento; Fallow= Porcentaje de barbecho de verano o invierno; CCGC= Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea; CCLC=Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa; CCGLC= Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla; CC= Porcentaje de cultivos de cobertura; IS= Índice de Shannon.

## Anexo C

## Resumen de la información de uso del suelo para el período 2016-2020

| Símbolo | Unidad | Media     | Mínimo | Máximo | Mediana | Nota.        |
|---------|--------|-----------|--------|--------|---------|--------------|
| TC      | #      | 5,84±1,05 | 3,86   | 8      | 5,92    | Nota.<br>TC= |
| TP      | #      | 1,8±1,63  | 0      | 5,14   | 1,44    |              |
| PCR     | #      | 0,47±0,43 | 0      | 1,44   | 0,4     |              |
| YC      | #      | 4,06±0,84 | 2,43   | 5      | 4,28    |              |
| IAFI    | #      | 1,46±0,17 | 1      | 1,9    | 1,44    |              |
| ISI     | %      | 94±7      | 71     | 100    | 96      |              |
| SbC     | #      | 3,33±0,85 | 1,59   | 5      | 3,2     |              |
| TSC     | #      | 4,06±0,85 | 2      | 5,49   | 4,19    |              |
| SSbCF   | #      | 0,83±0,16 | 0,5    | 1      | 0,86    |              |
| GWC     | %      | 12±6      | 0      | 22     | 12      |              |
| LWC     | %      | 1±2       | 0      | 7      | 0       |              |
| BWC     | %      | 4±4       | 0      | 12     | 2       |              |
| GSC     | %      | 7±7       | 0      | 24     | 5       |              |
| LSC     | %      | 30±10     | 10     | 50     | 30      |              |
| BSC     | %      | 0±0       | 0      | 0      | 0       |              |
| ASC     | %      | 0±0       | 0      | 0      | 0       |              |
| PP1     | %      | 7±6       | 0      | 18     | 6       |              |
| PP2     | %      | 7±6       | 0      | 23     | 6       |              |
| PP3     | %      | 6±6       | 0      | 19     | 4       |              |
| PP4     | %      | 2±3       | 0      | 9      | 1       |              |
| PP5     | %      | 1±2       | 0      | 5      | 0       |              |
| PP6     | %      | 0±1       | 0      | 5      | 0       |              |
| PP7     | %      | 0±0       | 0      | 1      | 0       |              |
| PP8     | %      | 0±0       | 0      | 0      | 0       |              |
| FI      | %      | 2±7       | 0      | 40     | 0       |              |
| Fallow  | %      | 6±6       | 0      | 25     | 4       |              |
| CCGC    | %      | 14±9      | 0      | 33     | 16      |              |
| CCLC    | %      | 0±1       | 0      | 8      | 0       |              |
| CCGLC   | %      | 0±0       | 0      | 2      | 0       |              |
| CC      | %      | 15±9      | 0      | 33     | 16      |              |
| IS      | #      | 1,02±0,47 | 0      | 1,78   | 1,1     |              |

Número total cultivos de renta; TP = Tiempo en pasturas; PCR= Relación pastura/cultivo; YC= Años de agricultura; IAFI = Intensidad de cultivos de la fase agrícola; ISI= Intensidad de uso del suelo; SbC= Número de cultivos de soja; TSC=Número de cultivos de renta de verano; SSbCF= Frecuencia de soja en verano; GWC= Porcentaje de cultivos gramínea de invierno; LWC= Porcentaje de cultivos leguminosa de invierno; BWC= Porcentaje de cultivos brassica de invierno; GSC= Porcentaje de cultivos gramínea de verano; LSC= Porcentaje de cultivos leguminosa

de verano; BSC=Porcentaje de cultivos brassica de verano; ASC=Porcentaje de cultivos asteraceas de verano; PP1= Porcentaje de pasturas de un año; PP2=Porcentaje de pasturas de dos años; PP3= Porcentaje de pasturas de tres años; PP4= Porcentaje de pasturas de cuatro años; PP5= Porcentaje de pasturas de cinco años; PP6= Porcentaje de pasturas de seis años; PP7= Porcentaje de pasturas de siete años; PP8= Porcentaje de pasturas de ocho años; FI= Porcentaje de mejoramiento; Fallow= Porcentaje de barbecho de verano o invierno; CCGC= Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea; CCLC=Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa; CCGLC= Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla; CC= Porcentaje de cultivos de cobertura; IS= Índice de Shannon.

## Anexo D

*Resumen de la información de uso del suelo para el período 2017-2021*

| <b>Símbolo</b> | <b>Unidad</b> | <b>Media</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> | <b>Mediana</b> |
|----------------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| TC             | #             | 6,05±1,06    | 4,23          | 9             | 6,23           |
| TP             | #             | 1,74±1,5     | 0             | 4,77          | 1,44           |
| PCR            | #             | 0,44±0,4     | 0             | 1,15          | 0,39           |
| YC             | #             | 4,11±0,75    | 2,62          | 5             | 4,28           |
| IAFI           | #             | 1,49±0,17    | 1             | 1,92          | 1,47           |
| ISI            | %             | 94±6         | 76            | 100           | 96             |
| SbC            | #             | 3,36±0,83    | 1,89          | 5             | 3,19           |
| TSC            | #             | 4,14±0,76    | 2,86          | 5,49          | 4,11           |
| SSbCF          | #             | 0,82±0,16    | 0,53          | 1             | 0,83           |
| GWC            | %             | 13±7         | 0             | 30            | 11             |
| LWC            | %             | 1±1          | 0             | 6             | 0              |
| BWC            | %             | 4±4          | 0             | 15            | 2              |
| GSC            | %             | 7±7          | 0             | 24            | 6              |
| LSC            | %             | 30±10        | 10            | 50            | 29             |
| BSC            | %             | 0±0          | 0             | 0             | 0              |
| ASC            | %             | 0±0          | 0             | 2             | 0              |
| PP1            | %             | 6±5          | 0             | 18            | 6              |
| PP2            | %             | 7±6          | 0             | 20            | 6              |
| PP3            | %             | 6±5          | 0             | 17            | 4              |
| PP4            | %             | 3±4          | 0             | 13            | 1              |
| PP5            | %             | 1±2          | 0             | 6             | 0              |
| PP6            | %             | 1±1          | 0             | 5             | 0              |
| PP7            | %             | 0±1          | 0             | 3             | 0              |
| PP8            | %             | 0±0          | 0             | 1             | 0              |
| FI             | %             | 2±7          | 0             | 40            | 0              |
| Fallow         | %             | 5±6          | 0             | 24            | 4              |
| CCGC           | %             | 13±8         | 0             | 35            | 13             |
| CCLC           | %             | 0±2          | 0             | 10            | 0              |
| CCGLC          | %             | 0±0          | 0             | 3             | 0              |
| CC             | %             | 14±8         | 0             | 35            | 15             |
| IS             | #             | 1,05±0,49    | 0             | 1,82          | 1,14           |

*Nota.* TC= Número total cultivos de renta; TP = Tiempo en pasturas; PCR= Relación pastura/cultivo; YC= Años de agricultura; IAFI = Intensidad de cultivos de la fase agrícola; ISI= Intensidad de uso del suelo; SbC= Número de cultivos de soja; TSC=Número de cultivos de renta de verano;SSbCF= Frecuencia de soja en verano; GWC= Porcentaje de cultivos gramínea de invierno; LWC= Porcentaje de cultivos leguminosa de invierno; BWC= Porcentaje de cultivos brassica de invierno; GSC=

Porcentaje de cultivos gramínea de verano; LSC= Porcentaje de cultivos leguminosa de verano; BSC=Porcentaje de cultivos brassica de verano; ASC=Porcentaje de cultivos asteraceas de verano; PP1= Porcentaje de pasturas de un año; PP2=Porcentaje de pasturas de dos años; PP3= Porcentaje de pasturas de tres años; PP4= Porcentaje de pasturas de cuatro años; PP5= Porcentaje de pasturas de cinco años; PP6= Porcentaje de pasturas de seis años; PP7= Porcentaje de pasturas de siete años; PP8= Porcentaje de pasturas de ocho años; FI= Porcentaje de mejoramiento; Fallow= Porcentaje de barbecho de verano o invierno; CCGC= Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea; CCLC=Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa; CCGLC= Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla; CC= Porcentaje de cultivos de cobertura; IS= Índice de Shannon.

## Anexo E

### Resumen de la información de uso del suelo para el período 2018-2022

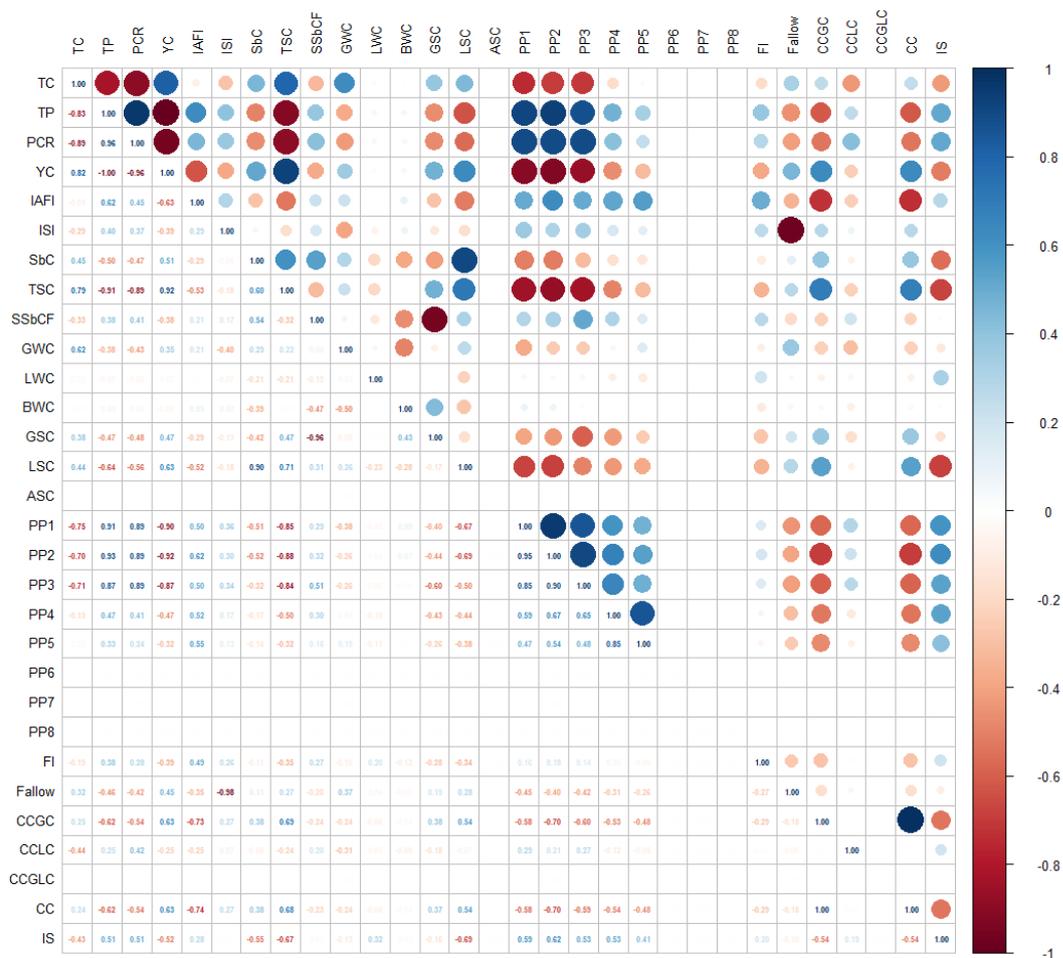
| Símbolo | Unidad | Media     | Mínimo | Máximo | Mediana |
|---------|--------|-----------|--------|--------|---------|
| TC      | #      | 6,37±1,16 | 3,94   | 9      | 6,43    |
| TP      | #      | 1,66±1,42 | 0      | 4,54   | 1,44    |
| PCR     | #      | 0,4±0,36  | 0      | 1,14   | 0,33    |
| YC      | #      | 4,16±0,71 | 2,73   | 5      | 4,25    |
| IAFI    | #      | 1,54±0,16 | 1,08   | 1,82   | 1,57    |
| ISI     | %      | 95±6      | 76     | 100    | 96      |
| SbC     | #      | 3,36±0,81 | 2,24   | 5      | 3,25    |
| TSC     | #      | 4,19±0,71 | 2,95   | 5,49   | 4,19    |
| SSbCF   | #      | 0,81±0,14 | 0,53   | 1      | 0,82    |
| GWC     | %      | 14±7      | 0      | 30     | 14      |
| LWC     | %      | 0±1       | 0      | 6      | 0       |
| BWC     | %      | 5±5       | 0      | 19     | 4       |
| GSC     | %      | 8±6       | 0      | 24     | 7       |
| LSC     | %      | 30±10     | 10     | 50     | 29      |
| BSC     | %      | 0±0       | 0      | 0      | 0       |
| ASC     | %      | 0±0       | 0      | 2      | 0       |
| PP1     | %      | 6±5       | 0      | 14     | 5       |
| PP2     | %      | 6±5       | 0      | 14     | 6       |
| PP3     | %      | 5±5       | 0      | 16     | 4       |
| PP4     | %      | 3±4       | 0      | 14     | 1       |
| PP5     | %      | 2±2       | 0      | 8      | 0       |
| PP6     | %      | 1±1       | 0      | 5      | 0       |
| PP7     | %      | 0±1       | 0      | 3      | 0       |
| PP8     | %      | 0±0       | 0      | 1      | 0       |
| FI      | %      | 2±7       | 0      | 40     | 0       |
| Fallow  | %      | 5±6       | 0      | 24     | 3       |
| CCGC    | %      | 12±7      | 0      | 30     | 11      |
| CCLC    | %      | 1±2       | 0      | 10     | 0       |
| CCGLC   | %      | 0±0       | 0      | 3      | 0       |
| CC      | %      | 13±7      | 0      | 30     | 12      |
| IS      | #      | 1,07±0,51 | 0      | 1,84   | 1,21    |

*Nota.* TC= Número total cultivos de renta; TP = Tiempo en pasturas; PCR= Relación pastura/cultivo; YC= Años de agricultura; IAFI = Intensidad de cultivos de la fase agrícola; ISI= Intensidad de uso del suelo; SbC= Número de cultivos de soja; TSC=Número de cultivos de renta de verano;SSbCF= Frecuencia de soja en verano; GWC= Porcentaje de cultivos gramínea de invierno; LWC= Porcentaje de cultivos leguminosa de invierno; BWC= Porcentaje de cultivos brassica de invierno; GSC= Porcentaje de cultivos gramínea de verano; LSC= Porcentaje de cultivos leguminosa

de verano; BSC=Porcentaje de cultivos brassica de verano; ASC=Porcentaje de cultivos asteraceas de verano; PP1= Porcentaje de pasturas de un año; PP2=Porcentaje de pasturas de dos años; PP3= Porcentaje de pasturas de tres años; PP4= Porcentaje de pasturas de cuatro años; PP5= Porcentaje de pasturas de cinco años; PP6= Porcentaje de pasturas de seis años; PP7= Porcentaje de pasturas de siete años; PP8= Porcentaje de pasturas de ocho años; FI= Porcentaje de mejoramiento; Fallow= Porcentaje de barbecho de verano o invierno; CCGC= Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea; CCLC=Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa; CCGLC= Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla; CC= Porcentaje de cultivos de cobertura; IS= Índice de Shannon.

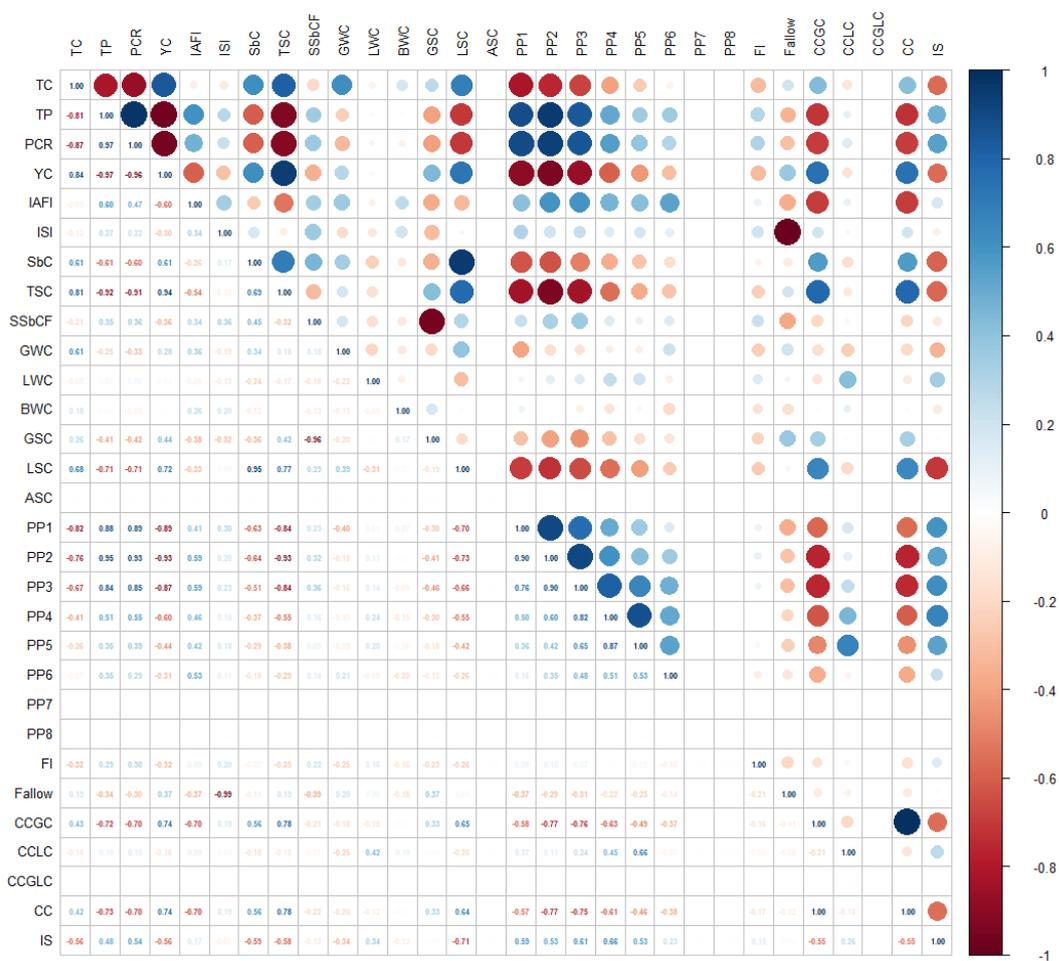
### Anexo F

Matriz de correlación de Pearson estimados para cada combinación de indicadores para el periodo 2014-2018



### Anexo G

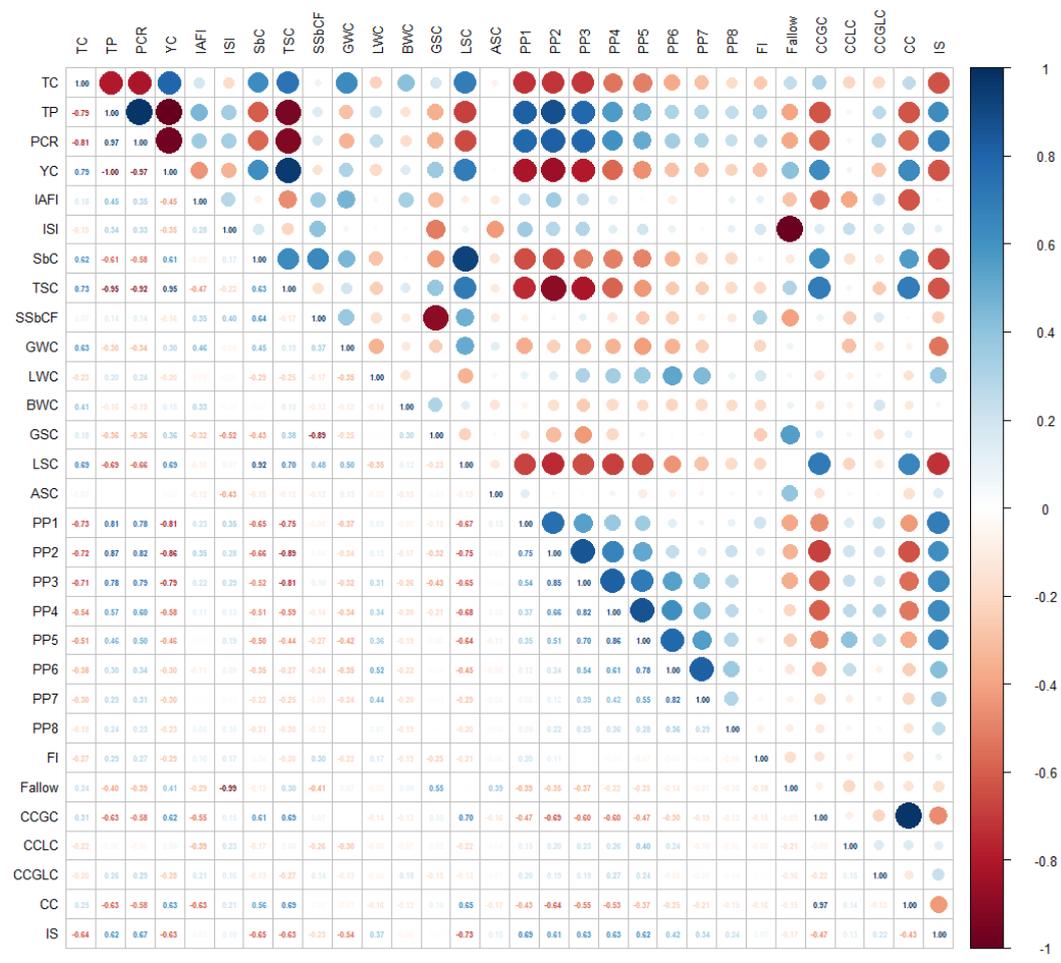
Matriz de correlación de Pearson estimados para cada combinación de indicadores para el periodo 2015-2019





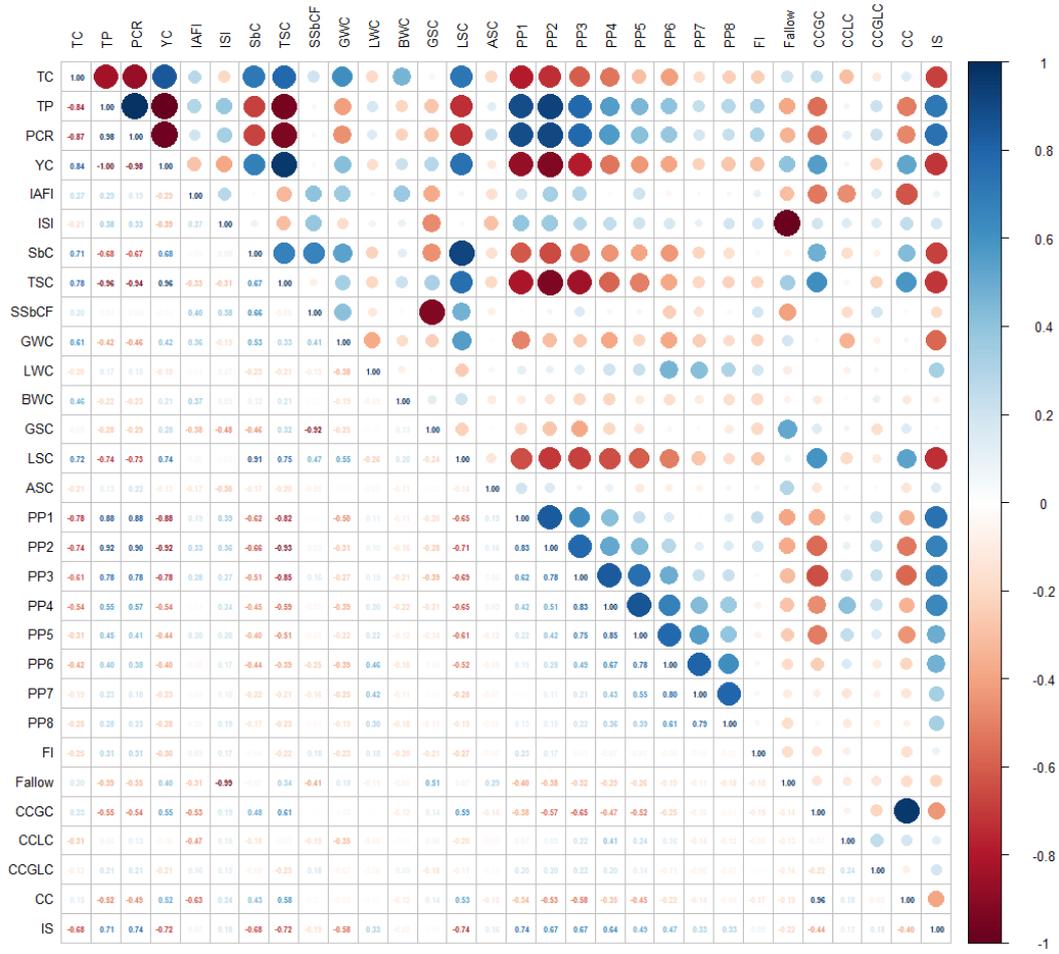
### Anexo I

Matriz de correlación de Pearson estimados para cada combinación de indicadores para el periodo 2017-2022



Anexo J

Matriz de correlación de Pearson estimados para cada combinación de indicadores para el periodo 2018-2022



**Anexo K**

*Correlación de variables para cada CPs, porcentaje de varianza total y acumulada en periodo 2014-2018*

| <b>Indicador de uso del suelo</b>             | <b>CP1</b>  | <b>CP2</b>  | <b>CP3</b>  | <b>CP4</b> |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|
| Número total cultivos de renta                | -0.74       | 0.23        | -0.43       | -0.39      |
| Tiempo en pasturas                            | 0.96        | -0.05       | 0.16        | 0.05       |
| Relación pastura/cultivo                      | <b>0.93</b> | -0.07       | 0.26        | 0.19       |
| Años de agricultura                           | -0.96       | 0.04        | -0.14       | -0.05      |
| Intensidad de cultivos de la fase agrícola    | 0.66        | 0.21        | -0.34       | -0.45      |
| Intensidad de uso del suelo                   | 0.33        | -0.20       | <b>0.64</b> | -0.61      |
| Número de cultivos de soja                    | -0.53       | 0.71        | 0.37        | -0.07      |
| Número de cultivos de renta de verano         | -0.94       | 0.04        | 0.05        | -0.21      |
| Frecuencia de soja en verano                  | 0.36        | <b>0.77</b> | 0.45        | 0.12       |
| Porcentaje de cultivos gramínea de invierno   | -0.28       | 0.61        | -0.53       | -0.08      |
| Porcentaje de cultivos leguminosa de invierno | 0.04        | -0.17       | -0.23       | 0.19       |
| Porcentaje de cultivos brassica de invierno   | 0.05        | -0.63       | -0.17       | -0.19      |
| Porcentaje de cultivos gramínea de verano     | -0.49       | -0.75       | -0.33       | -0.14      |
| Porcentaje de cultivos leguminosa de verano   | -0.72       | 0.50        | 0.37        | 0.10       |
| Porcentaje de cultivos brassica de verano     | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00       |
| Porcentaje de cultivos asteraceas de verano   | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00       |
| Porcentaje de pasturas de un año              | 0.93        | -0.09       | 0.09        | 0.00       |
| Porcentaje de pasturas de dos años            | 0.97        | 0.00        | -0.03       | -0.03      |
| Porcentaje de pasturas de tres años           | 0.91        | 0.15        | 0.15        | 0.02       |
| Porcentaje de pasturas de cuatro años         | 0.64        | 0.29        | -0.23       | -0.39      |
| Porcentaje de pasturas de cinco años          | 0.50        | 0.27        | -0.33       | -0.49      |
| Porcentaje de pasturas de seis años           | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00       |
| Porcentaje de pasturas de siete años          | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00       |
| Porcentaje de pasturas de ocho años           | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00       |
| Porcentaje de mejoramiento                    | 0.35        | 0.08        | 0.06        | -0.07      |
| Porcentaje de barbecho de verano o invierno   | -0.43       | 0.16        | -0.56       | 0.64       |

|  |             |             |             |              |
|--|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea   | -0.72       | -0.27       | 0.57        | -0.15        |
| Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa | 0.23        | -0.10       | 0.39        | <b>0.51</b>  |
| Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla     | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00         |
| Porcentaje de cultivos de cobertura            | -0.71       | -0.27       | 0.58        | -0.15        |
| Índice de Shannon                              | 0.66        | -0.15       | -0.31       | 0.16         |
| <b>Proporción de la varianza (%)</b>           | <b>0.44</b> | <b>0.13</b> | <b>0.13</b> | <b>0.08</b>  |
| <b>Proporción acumulada (%)</b>                | <b>0.44</b> | <b>0.57</b> | <b>0.70</b> | <b>0.78</b>  |
| <b>Correlación cofenética</b>                  |             |             |             | <b>0,934</b> |

*Nota.* Valores en negrita indican el indicador de uso del suelo seleccionado para el componente principal correspondiente.

**Anexo L**

*Correlación de variables para cada CPs, porcentaje de varianza total y acumulada en periodo 2015-2019*

| <b>Indicador de uso del suelo</b>             | <b>CP1</b>   | <b>CP2</b>  | <b>CP3</b>  | <b>CP4</b> |
|---|--------------|-------------|-------------|------------|
| Número total cultivos de renta                | 0.78         | 0.14        | 0.45        | 0.20       |
| Tiempo en pasturas                            | -0.94        | 0.11        | -0.13       | -0.20      |
| Relación pastura/cultivo                      | <b>-0.94</b> | 0.07        | -0.19       | -0.18      |
| Años de agricultura                           | 0.96         | -0.11       | 0.15        | 0.13       |
| Intensidad de cultivos de la fase agrícola    | -0.61        | 0.38        | 0.40        | 0.05       |
| Intensidad de uso del suelo                   | -0.20        | <b>0.64</b> | -0.48       | 0.40       |
| Número de cultivos de soja                    | 0.67         | 0.64        | 0.08        | 0.10       |
| Número de cultivos de renta de verano         | 0.94         | 0.01        | 0.04        | 0.22       |
| Frecuencia de soja en verano                  | -0.29        | <b>0.84</b> | 0.03        | -0.14      |
| Porcentaje de cultivos gramínea de invierno   | 0.24         | 0.34        | <b>0.78</b> | -0.19      |
| Porcentaje de cultivos leguminosa de invierno | -0.17        | -0.37       | -0.03       | 0.34       |
| Porcentaje de cultivos brassica de invierno   | 0.02         | -0.01       | -0.13       | 0.12       |
| Porcentaje de cultivos gramínea de verano     | 0.39         | -0.77       | -0.09       | 0.09       |
| Porcentaje de cultivos leguminosa de verano   | 0.80         | 0.52        | 0.10        | 0.02       |
| Porcentaje de cultivos brassica de verano     | 0.00         | 0.00        | 0.00        | 0.00       |
| Porcentaje de cultivos asteraceas de verano   | 0.00         | 0.00        | 0.00        | 0.00       |
| Porcentaje de pasturas de un año              | -0.87        | 0.00        | -0.29       | -0.07      |
| Porcentaje de pasturas de dos años            | -0.95        | 0.06        | -0.02       | -0.14      |
| Porcentaje de pasturas de tres años           | -0.93        | 0.10        | 0.11        | 0.11       |
| Porcentaje de pasturas de cuatro años         | -0.73        | -0.03       | 0.28        | 0.48       |
| Porcentaje de pasturas de cinco años          | -0.59        | -0.03       | 0.30        | 0.68       |
| Porcentaje de pasturas de seis años           | -0.41        | 0.17        | 0.47        | 0.18       |
| Porcentaje de pasturas de siete años          | 0.00         | 0.00        | 0.00        | 0.00       |
| Porcentaje de pasturas de ocho años           | 0.00         | 0.00        | 0.00        | 0.00       |
| Porcentaje de mejoramiento                    | -0.24        | 0.12        | -0.35       | -0.20      |
| Porcentaje de barbecho de verano o invierno   | 0.29         | -0.62       | 0.47        | -0.41      |

|  |             |             |             |              |
|--|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea   | 0.82        | 0.09        | -0.47       | 0.17         |
| Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa | -0.26       | -0.21       | 0.03        | <b>0.69</b>  |
| Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla     | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00         |
| Porcentaje de cultivos de cobertura            | 0.81        | 0.07        | -0.47       | 0.21         |
| Índice de Shannon                              | -0.67       | -0.41       | 0.02        | 0.17         |
| <b>Proporción de la varianza (%)</b>           | <b>0.45</b> | <b>0.13</b> | <b>0.10</b> | <b>0.08</b>  |
| <b>Proporción acumulada (%)</b>                | <b>0.45</b> | <b>0.58</b> | <b>0.68</b> | <b>0.76</b>  |
| <b>Correlación cofenética</b>                  |             |             |             | <b>0.957</b> |

*Nota.* Valores en negrita indican el indicador de uso del suelo seleccionado para el componente principal correspondiente.

**Anexo M**

*Correlación de variables para cada CPs, porcentaje de varianza total y acumulada en periodo 2016-2020*

| <b>Indicador de uso del suelo</b>             | <b>CP1</b>   | <b>CP2</b>  | <b>CP3</b> | <b>CP4</b>  |
|---|--------------|-------------|------------|-------------|
| Número total cultivos de renta                | 0.84         | -0.03       | -0.20      | 0.32        |
| Tiempo en pasturas                            | -0.92        | 0.25        | -0.15      | -0.13       |
| Relación pastura/cultivo                      | <b>-0.91</b> | 0.23        | -0.10      | -0.12       |
| Años de agricultura                           | 0.93         | -0.26       | 0.13       | 0.11        |
| Intensidad de cultivos de la fase agrícola    | -0.49        | 0.40        | -0.50      | 0.29        |
| Intensidad de uso del suelo                   | -0.16        | <b>0.68</b> | 0.57       | 0.03        |
| Número de cultivos de soja                    | 0.73         | 0.54        | 0.18       | 0.24        |
| Número de cultivos de renta de verano         | 0.92         | -0.18       | 0.24       | 0.07        |
| Frecuencia de soja en verano                  | -0.14        | <b>0.89</b> | -0.03      | 0.13        |
| Porcentaje de cultivos gramínea de invierno   | 0.41         | 0.19        | -0.58      | 0.55        |
| Porcentaje de cultivos leguminosa de invierno | -0.26        | -0.27       | 0.12       | 0.02        |
| Porcentaje de cultivos brassica de invierno   | 0.07         | 0.21        | -0.23      | -0.21       |
| Porcentaje de cultivos gramínea de verano     | 0.31         | -0.80       | -0.07      | -0.25       |
| Porcentaje de cultivos leguminosa de verano   | 0.82         | 0.47        | 0.00       | 0.19        |
| Porcentaje de cultivos brassica de verano     | 0.00         | 0.00        | 0.00       | 0.00        |
| Porcentaje de cultivos asteraceas de verano   | 0.00         | 0.00        | 0.00       | 0.00        |
| Porcentaje de pasturas de un año              | -0.84        | 0.06        | 0.13       | -0.34       |
| Porcentaje de pasturas de dos años            | -0.91        | 0.11        | 0.05       | -0.11       |
| Porcentaje de pasturas de tres años           | -0.92        | 0.07        | 0.04       | 0.19        |
| Porcentaje de pasturas de cuatro años         | <b>-0.73</b> | -0.30       | 0.35       | 0.31        |
| Porcentaje de pasturas de cinco años          | -0.60        | -0.28       | 0.48       | 0.51        |
| Porcentaje de pasturas de seis años           | -0.49        | -0.30       | 0.27       | 0.57        |
| Porcentaje de pasturas de siete años          | -0.34        | -0.14       | -0.08      | <b>0.61</b> |
| Porcentaje de pasturas de ocho años           | 0.00         | 0.00        | 0.00       | 0.00        |
| Porcentaje de mejoramiento                    | -0.21        | 0.26        | -0.02      | -0.30       |
| Porcentaje de barbecho de verano o invierno   | 0.26         | -0.65       | -0.57      | -0.04       |

|  |             |             |             |              |
|--|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea   | 0.79        | 0.18        | 0.45        | -0.14        |
| Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa | -0.12       | -0.30       | <b>0.66</b> | 0.06         |
| Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla     | -0.24       | 0.15        | 0.10        | 0.01         |
| Porcentaje de cultivos de cobertura            | 0.76        | 0.14        | 0.56        | -0.13        |
| Índice de Shannon                              | -0.72       | -0.28       | 0.12        | -0.04        |
| <b>Proporción de la varianza (%)</b>           | <b>0.41</b> | <b>0.14</b> | <b>0.10</b> | <b>0.08</b>  |
| <b>Proporción acumulada (%)</b>                | <b>0.41</b> | <b>0.55</b> | <b>0.65</b> | <b>0.73</b>  |
| <b>Correlación cofenética</b>                  |             |             |             | <b>0.933</b> |

*Nota.* Valores en negrita indican el indicador de uso del suelo seleccionado para el componente principal correspondiente.

**Anexo N**

*Correlación de variables para cada CPs, porcentaje de varianza total y acumulada en periodo 2017-2021*

| <b>Indicador de uso del suelo</b>             | <b>CP1</b>   | <b>CP2</b>  | <b>CP3</b>   | <b>CP4</b>  |
|---|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Número total cultivos de renta                | 0.81         | 0.08        | -0.25        | 0.31        |
| Tiempo en pasturas                            | -0.93        | 0.26        | -0.11        | -0.09       |
| Relación pastura/cultivo                      | <b>-0.92</b> | 0.23        | -0.04        | -0.08       |
| Años de agricultura                           | 0.93         | -0.27       | 0.11         | 0.09        |
| Intensidad de cultivos de la fase agrícola    | -0.30        | 0.55        | <b>-0.56</b> | 0.27        |
| Intensidad de uso del suelo                   | -0.25        | <b>0.65</b> | 0.53         | -0.18       |
| Número de cultivos de soja                    | 0.73         | 0.52        | 0.25         | 0.21        |
| Número de cultivos de renta de verano         | 0.91         | -0.23       | 0.22         | 0.02        |
| Frecuencia de soja en verano                  | 0.06         | <b>0.89</b> | 0.04         | 0.18        |
| Porcentaje de cultivos gramínea de invierno   | 0.42         | 0.43        | -0.41        | 0.42        |
| Porcentaje de cultivos leguminosa de invierno | -0.35        | -0.26       | 0.24         | 0.32        |
| Porcentaje de cultivos brassica de invierno   | 0.18         | -0.04       | -0.36        | -0.18       |
| Porcentaje de cultivos gramínea de verano     | 0.24         | -0.82       | -0.19        | -0.23       |
| Porcentaje de cultivos leguminosa de verano   | 0.85         | 0.41        | 0.14         | 0.13        |
| Porcentaje de cultivos brassica de verano     | 0.00         | 0.00        | 0.00         | 0.00        |
| Porcentaje de cultivos asteraceas de verano   | -0.03        | -0.24       | -0.37        | -0.02       |
| Porcentaje de pasturas de un año              | -0.78        | 0.10        | -0.08        | -0.45       |
| Porcentaje de pasturas de dos años            | -0.89        | 0.15        | -0.12        | -0.13       |
| Porcentaje de pasturas de tres años           | -0.88        | 0.09        | 0.15         | 0.15        |
| Porcentaje de pasturas de cuatro años         | -0.78        | -0.16       | 0.16         | 0.25        |
| Porcentaje de pasturas de cinco años          | -0.71        | -0.29       | 0.37         | 0.25        |
| Porcentaje de pasturas de seis años           | -0.52        | -0.36       | 0.45         | 0.53        |
| Porcentaje de pasturas de siete años          | -0.41        | -0.24       | 0.33         | <b>0.61</b> |
| Porcentaje de pasturas de ocho años           | -0.29        | -0.08       | 0.13         | 0.33        |
| Porcentaje de mejoramiento                    | -0.20        | 0.28        | 0.01         | -0.18       |
| Porcentaje de barbecho de verano o invierno   | 0.33         | -0.64       | -0.52        | 0.13        |

|  |             |             |             |              |
|--|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea   | 0.71        | 0.06        | 0.53        | -0.20        |
| Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa | -0.15       | -0.23       | 0.44        | -0.33        |
| Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla     | -0.27       | 0.18        | -0.06       | -0.22        |
| Porcentaje de cultivos de cobertura            | 0.67        | 0.02        | 0.63        | -0.29        |
| Índice de Shannon                              | -0.78       | -0.24       | 0.06        | -0.12        |
| <b>Proporción de la varianza (%)</b>           | <b>0.38</b> | <b>0.14</b> | <b>0.10</b> | <b>0.07</b>  |
| <b>Proporción acumulada (%)</b>                | <b>0.38</b> | <b>0.52</b> | <b>0.62</b> | <b>0.69</b>  |
| <b>Correlación cofenética</b>                  |             |             |             | <b>0.926</b> |

*Nota.* Valores en negrita indican el indicador de uso del suelo seleccionado para el componente principal correspondiente.

**Anexo Ñ**

*Correlación de variables para cada CPs, porcentaje de varianza total y acumulada en periodo 2018-2022*

| <b>Indicador de uso del suelo</b>             | <b>CP1</b>   | <b>CP2</b>  | <b>CP3</b>  | <b>CP4</b>   |
|---|--------------|-------------|-------------|--------------|
| Número total cultivos de renta                | 0.82         | 0.21        | -0.05       | -0.44        |
| Tiempo en pasturas                            | -0.95        | 0.16        | -0.09       | 0.14         |
| Relación pastura/cultivo                      | <b>-0.94</b> | 0.12        | -0.12       | 0.21         |
| Años de agricultura                           | 0.95         | -0.16       | 0.09        | -0.14        |
| Intensidad de cultivos de la fase agrícola    | -0.22        | <b>0.64</b> | -0.28       | -0.50        |
| Intensidad de uso del suelo                   | -0.32        | 0.56        | <b>0.57</b> | 0.29         |
| Número de cultivos de soja                    | 0.75         | 0.52        | 0.25        | -0.08        |
| Número de cultivos de renta de verano         | 0.94         | -0.18       | 0.15        | -0.04        |
| Frecuencia de soja en verano                  | 0.08         | <b>0.90</b> | 0.12        | -0.06        |
| Porcentaje de cultivos gramínea de invierno   | 0.51         | 0.43        | -0.25       | -0.37        |
| Porcentaje de cultivos leguminosa de invierno | -0.28        | -0.22       | 0.37        | -0.13        |
| Porcentaje de cultivos brassica de invierno   | 0.20         | 0.12        | -0.14       | -0.18        |
| Porcentaje de cultivos gramínea de verano     | 0.20         | -0.84       | -0.19       | 0.05         |
| Porcentaje de cultivos leguminosa de verano   | 0.86         | 0.37        | 0.16        | 0.00         |
| Porcentaje de cultivos brassica de verano     | 0.00         | 0.00        | 0.00        | 0.00         |
| Porcentaje de cultivos asteraceas de verano   | -0.13        | -0.17       | -0.38       | 0.12         |
| Porcentaje de pasturas de un año              | -0.82        | 0.14        | -0.15       | 0.38         |
| Porcentaje de pasturas de dos años            | -0.89        | 0.20        | -0.19       | 0.13         |
| Porcentaje de pasturas de tres años           | -0.87        | 0.17        | -0.01       | -0.16        |
| Porcentaje de pasturas de cuatro años         | -0.75        | -0.11       | 0.27        | -0.20        |
| Porcentaje de pasturas de cinco años          | <b>-0.65</b> | -0.09       | 0.29        | <b>-0.51</b> |
| Porcentaje de pasturas de seis años           | -0.57        | -0.35       | 0.52        | -0.41        |
| Porcentaje de pasturas de siete años          | -0.36        | -0.26       | 0.56        | -0.53        |
| Porcentaje de pasturas de ocho años           | -0.35        | -0.12       | 0.54        | -0.37        |
| Porcentaje de mejoramiento                    | -0.22        | 0.21        | -0.07       | 0.25         |
| Porcentaje de barbecho de verano o invierno   | 0.35         | -0.58       | -0.56       | -0.24        |

|  |             |             |             |              |
|--|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Porcentaje de cultivos de cobertura gramínea   | 0.62        | -0.08       | 0.53        | 0.47         |
| Porcentaje de cultivos de cobertura leguminosa | -0.17       | -0.23       | 0.19        | 0.35         |
| Porcentaje de cultivos de cobertura mezcla     | -0.21       | 0.24        | -0.09       | 0.10         |
| Porcentaje de cultivos de cobertura            | 0.56        | -0.11       | 0.57        | 0.56         |
| Índice de Shannon                              | -0.83       | -0.17       | 0.02        | 0.03         |
| <b>Proporción de la varianza (%)</b>           | <b>0.38</b> | <b>0.13</b> | <b>0.10</b> | <b>0.09</b>  |
| <b>Proporción acumulada (%)</b>                | <b>0.38</b> | <b>0.51</b> | <b>0.62</b> | <b>0.70</b>  |
| <b>Correlación cofenética</b>                  |             |             |             | <b>0.918</b> |

*Nota.* Valores en negrita indican el indicador de uso del suelo seleccionado para el componente principal correspondiente.