



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
Facultad de Ciencias Económicas

“Abriendo caminos a la sostenibilidad en los sistemas agropecuarios a través de la gestión del conocimiento incompleto. El caso de uso del suelo en el Departamento Maipú en la provincia del Chaco”

Tesis presentada para optar al título de Doctora de la Universidad de Buenos Aires en el área Ciencias Económicas

Sub-área: Administración



MARÍA E. QUIROLO

Doctoranda: Lic. María Eugenia Quirolo



Director: Dr. Javier García Fronti

Buenos Aires, 30 de marzo de 2023

"Mi esperanza se funda en lo improbable"
-Edgar Morin-

Agradecimientos

En estas breves líneas quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que me acompañaron a lo largo de este camino del Doctorado, que significó para mí un gran sacrificio, pero también un gran aprendizaje y crecimiento personal.

Agradezco profundamente a los Doctora Maria Teresa Casparri, por su apoyo incondicional en este recorrido, por creer en mí y alentarme permanentemente para llegar a la meta: entregar la tesis. Al Dr. Miguel Fusco, también muchas gracias por aceptar ser mi consejero de estudios.

A mis profesores y compañeros de los Seminarios doctorales con quien pude debatir e intercambiar algunas ideas que me ayudaron a enriquecer este trabajo.

Agradezco profundamente el acompañamiento de mis compañeros del Área de Recursos Naturales del INTA Sáenz Peña, especialmente al Ing. Ag. Astor Lopez por su permanente apoyo, orientación y valiosos aportes. Al Ing. Ag. Marcelo Wilson, coordinador del Proyecto INTA “Evaluación de la dinámica de la sostenibilidad de territorios y sistemas de producción” por apoyar desde el Proyecto a este trabajo de investigación.

A todos los informantes calificados que aceptaron generosamente formar parte del panel de expertos que nutrió este trabajo.

A mi amada familia que está siempre presente, e incondicionalmente me alientan y apoyan para seguir dando pasos importantes en mi profesión.

Y, por último, y no por eso menos importante, al Dr. Javier García Fronti, mi director de tesis, por su paciencia infinita, su generosidad y apoyo en momentos difíciles, por todos sus retos que me marcaron el camino, y por sobre todo ¡por enseñarme a abrir la mente! ¡Gracias infinitas, Javier!

Resumen

En los últimos 30 años los sistemas agropecuarios argentinos experimentan un proceso de intensificación productiva de la mano de la modernización tecnológica, el manejo financiero y organizacional. La intensificación agropecuaria se promueve también a las provincias del norte argentino, entre ellas la provincia del Chaco, sin considerarse las trayectorias pasadas de los agroecosistemas, sus características socio-económicas y ambientales, y los mayores riesgos agro-edafológicos y climáticos que prevalecen en esta región. Como resultado, se genera un desbalance y una marcada degradación de los recursos naturales, la pérdida de rendimientos y de otros servicios ecosistémicos, sumado a otros impactos económicos y sociales, como el aumento muy intenso en la escala productiva, el desplazamiento de la pequeña y mediana agricultura, el desplazamiento de las producciones locales –como el algodón- en beneficio de la soja. En esta región, los desmontes, las duraderas prácticas extractivas, los incendios descontrolados y el pastoreo excesivo, desencadenan procesos de degradación del suelo, disminuyendo su capacidad de sostener sus funciones y brindar servicios ecosistémicos esenciales para toda la vida terrestre, y para la sostenibilidad del propio sistema en el largo plazo. La disminución de la complejidad de los sistemas los hace más vulnerables a las perturbaciones internas y externas, y las herramientas convencionales de gestión del riesgo disponibles no son del todo adecuadas para enfrentar un contexto que es cada vez más complejo, aleatorio e incierto.

Este trabajo tiene por objetivo identificar, mediante el método Delphi Fundamentado, los cambios estructurales y funcionales que se requieren para que los sistemas mixtos del Departamento Maipú sean estables, durables, resilientes y robustos, ante los shocks climáticos de corto plazo y las presiones edafológicas de largo plazo. Asimismo, se busca identificar los cambios en el paradigma de gestión que abran vías hacia trayectorias sostenibles en el largo plazo.

Los resultados muestran que en el área de estudio existen múltiples vías a través de las cuales los sistemas agropecuarios pueden alcanzar la sostenibilidad. Algunos de estos caminos adoptan la forma de adaptaciones incrementales en las prácticas actuales, otros, cambios más importantes a nivel de sistema, y otros cambios radicales y transformadores, asociados a cambios en el paradigma de gestión. Se destacan como vías las prácticas conservacionistas

agrícolas y ganaderas; los sistemas gestionados bajo paradigmas holísticos, dotados diversidad y redundancia, y los agroecosistemas robustos diseñados, que implican gestión adaptativa tanto a nivel de finca como a nivel de paisaje.

Palabras clave: Agricultura y Medio Ambiente, Clima, Uso de la Tierra, Suelos, Gestión

Abstract

In the last 30 years in Argentine agricultural systems have experienced a process of agricultural and livestock intensification, hand in hand with technological modernization, financial and organizational management. In Chaco province intensification of agricultural systems was imported from *pampa humeda* region, without regard of past trajectories of agroecosystems, socio-economic and environmental characteristics, and riskier soil and climatic conditions.

As a result, an imbalance and a marked degradation of natural resources are generated, the loss of yields and other ecosystem services, and further economic and social impacts, such as increase in system's scale, displacement of small and medium agriculture, the displacement of local products, such as cotton, in favor of soybeans. In this region, clearing, long-lasting extractive practices, uncontrolled fires, and excessive grazing trigger processes of soil degradation, diminishing its ability to sustain its functions and provide essential ecosystem services for all terrestrial life, and for the sustainability of the own system in the long run. The decrease in the complexity of the systems makes them more vulnerable to internal and external disturbances, and the conventional risk management tools available are not entirely adequate to face a context that is increasingly complex, random and uncertain.

The aim of this work is to identify, through the Grounded Delphi method, structural and functional changes required for the mixed systems of the Maipú Department, in order to be stable, durable, resilient and robust, in the face of short-term climatic shocks and soil pressures from long term. Also, it seeks to identify changes in the management paradigm that open paths towards sustainable trajectories in the long term. The results show that in the study area there are multiple ways through which agricultural systems can achieve sustainability. Some of these paths take the form of incremental adaptations in current practices, others,

more important changes at the system level, and other radical and transformative changes, associated with changes in the management paradigm. Agricultural and livestock conservation practices stand out as pathways; as well as systems managed under holistic paradigms, endowed with diversity and redundancy; and designed robust agroecosystems, which imply adaptive management both at the farm level and at the landscape level.

Keywords: Agriculture and Environment, Climate, Land Use, Soils, Management

Tabla de Contenido

| | |
|---|-----------|
| 1. CAPITULO 1: La intensificación agropecuaria en la provincia del Chaco | 10 |
| 1.1 Introducción..... | 10 |
| 1.2 Planteo del problema de investigación..... | 13 |
| 1.3 Objetivos..... | 15 |
| 1.4 Hipótesis..... | 15 |
| 2. CAPITULO 2: Del reduccionismo a la complejidad para abordar la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios | 18 |
| 2.1 Introducción..... | 18 |
| 2.1 Los sistemas agropecuarios como sistemas adaptativos complejos..... | 21 |
| 2.2 El paradigma convencional de gestión agropecuaria | 22 |
| 2.3 El sistema agropecuario frente a los estados del conocimiento incompleto | 25 |
| 2.4 Vías a la Sostenibilidad | 27 |
| 2.5 Dinámica y sostenibilidad de los sistemas agropecuarios | 28 |
| 3. CAPITULO 3. El sistema suelo, sus procesos y las decisiones de gestión agropecuaria | 36 |
| 3.1 Introducción..... | 36 |
| 3.2 El sistema suelo..... | 37 |
| 3.2.1 Propiedades físicas del suelo..... | 39 |
| 3.2.2 Propiedades químicas del suelo..... | 43 |
| 3.2.3 Propiedades biológicas del suelo..... | 45 |
| 3.6 Los cambios en el suelo..... | 48 |
| 3.7 La degradación del suelo | 49 |
| 3.7.1 Erosión..... | 50 |
| 3.7.2 Degradación física..... | 52 |
| 3.7.3 Degradación biológica..... | 53 |
| 3.7.4 Degradación química..... | 54 |
| 4. CAPITULO 4: El Método Delphi Fundamentado para establecer vías sostenibles de uso del suelo | 56 |
| 4.1 Introducción..... | 56 |
| 4.2 Descripción del área de estudio | 56 |
| 4.2.1 Características ambientales | 56 |
| 4.2.2 Dinámica del uso del suelo | 57 |
| 4.2.3 Estructura productiva..... | 59 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.4 Aptitud de los suelos del Departamento Maipú | 64 |
| 4.2.5 Riesgos edafológicos y climáticos..... | 66 |
| 4.3 Clasificación funcional de los sistemas de producción | 71 |
| 4.4 El Método Delphi Fundamentado para establecer nuevas trayectorias sostenibles | 74 |
| Adaptación de la metodología | 79 |
| 5. CAPITULO 5: Funcionamiento actual de los sistemas y las trayectorias hacia la sostenibilidad | 83 |
| 5.1 Introducción..... | 83 |
| 5.2 Diversidad y tipos de sistemas productivos del Departamento Maipú..... | 83 |
| 1) <i>Sistemas ganadero-forestales del Noreste</i> | 84 |
| 2) <i>Sistemas mixtos pequeños</i> | 85 |
| 3) <i>Sistemas mixtos medianos con tendencia a la ganadería</i> | 86 |
| 4) <i>Sistemas mixtos medianos con tendencia a la agricultura</i> | 89 |
| 5) <i>Sistemas agrícolas grandes</i> | 90 |
| 6) <i>Otros tipos de sistemas</i> | 90 |
| 5.3 Nuevas vías a la sostenibilidad. Resultados del Delphi Fundamentado | 92 |
| 5.3.1 Resultados de la codificación abierta..... | 92 |
| 5.3.2 Resultados de la codificación axial..... | 93 |
| 5.3.3 Categorías emergidas de la codificación axial | 123 |
| 5.3.4 Resultados de la codificación selectiva..... | 132 |
| 5.4 Conclusiones..... | 143 |
| 6. CAPITULO 6: Discusión de los resultados, principales aportes y alcances de la investigación..... | 146 |
| 6.1 Implicancias para la gestión de los sistemas agropecuarios | 146 |
| 6.2 Implicancias políticas para la gestión del riesgo agropecuario | 148 |
| 6.3 Aportes, limitaciones y futuras investigaciones..... | 150 |
| 6.4 Descargo | 152 |
| 7. BLIOGRAFIA | 152 |
| 8. ANEXOS | 165 |
| ANEXO I. Ley de Bosques en la provincia del Chaco | 165 |
| Anexo II. Mapa de capacidad de uso de los suelos del Departamento Maipú..... | 170 |
| Anexo III. Mapa de los riesgos agro-edafológicos de los suelos del Departamento Maipú..... | 172 |
| Anexo IV. Registro de precipitaciones | 172 |
| Anexo IV. Registro de Precipitaciones | 173 |
| Anexo V. RED Riesgo de retención de humedad..... | 176 |

| | |
|---|-----|
| Anexo VI. RED Riesgo de encharcamiento | 177 |
| Anexo VII. RED Riesgo de erosión..... | 178 |
| Anexo VIII. RED Riesgo de condiciones físicas adversas..... | 179 |
| Anexo IX. RED Riesgo de condiciones químicas adversas | 180 |
| Anexo X. Cuestionario de consulta a Expertos | 181 |

CAPITULO 1: La intensificación agropecuaria en la provincia del Chaco

1.1 Introducción

La expansión de la agricultura fue muy acelerada en los últimos 30 años impulsada por el incremento de la demanda de productos agrícolas. En dos fases de crecimiento, primero el aumento de la superficie convertida y luego, la de intensificación de la producción de alimentos y fibras, la “agriculturización” se impuso en los sistemas agropecuarios, acompañada de procesos de modernización técnica, de manejo financiero y organizacional (Carreño et al., 2009; Morello & Rodríguez, 2009; Pengue, 2009).

El paradigma predominante para la gestión de los sistemas agropecuarios se centra en la búsqueda de eficiencia de la producción y en la creación de condiciones óptimas para maximizar los beneficios, lo cual implica técnicamente reducir el rango de variación natural de los ecosistemas y centrar los planteos productivos en pocos cultivos de homogeneidad genética, con el objetivo de hacerlos más predecible y garantizar un suministro estable de producción. Esto permite en el corto plazo incrementar la productividad, pero a expensas de volver a los sistemas menos resistentes a las perturbaciones, tanto shocks externos como presiones internas. El paradigma de gestión convencional se introduce también en la provincia del Chaco, pero sin considerarse las trayectorias pasadas de los agroecosistemas, sus componentes ecológicos, ambientales y sociales, ni los mayores riesgos edafológicos y climáticos que prevalecen en esta región.

A nivel de paisaje, la intensificación agropecuaria genera un desbalance y una degradación de los recursos naturales, y pérdida de servicios ecosistémicos, sumado a otros impactos económicos y sociales, como el aumento muy intenso en la escala productiva, el desplazamiento de la pequeña y mediana agricultura, el desplazamiento de las producciones locales en beneficio de la agricultura de exportación y de renta (Pengue, 2009).

Los desmontes, las duraderas prácticas extractivas, los incendios descontrolados y el pastoreo excesivo, desencadenan procesos de degradación del suelo, tales como la erosión, salinización, la acidificación, el agotamiento de los nutrientes y del carbono orgánico del suelo, el deterioro de la estructura, además de la reducción de la biodiversidad y la

denudación de la cubierta vegetal del suelo. Los expertos en Ciencias del Suelo, por ejemplo, Lal (2012) señalan que cuando el suelo se degrada disminuye su capacidad de sostener sus funciones y brindar servicios ecosistémicos esenciales para toda la vida terrestre. Estos servicios son: servicios de provisión (provisión de alimentos, fibra, combustible y forrajes); servicios de soporte ecológico (producción de biomasa, ciclo de nutrientes); servicios reguladores (purificación y flujo de agua, secuestro de carbono, fluctuaciones de temperatura); y servicios culturales (culturales, espirituales y estéticos).

Por otro lado, la degradación del suelo afecta al cambio climático, y también se ve afectada por este, mediante retroalimentaciones positivas que se refuerzan mutuamente, y que están fuertemente influidas por factores sociales, económicos, políticos y culturales (Crona et al., 2021; Lal, 2012).

La provincia del Chaco se encuentra en un área que posee una alta variabilidad térmica y pluviométrica, por ser un espacio de transición situado en medio de ambientes tropicales y templados (Cuadra, 2012). Es un ambiente que puede presentar un año o una sucesión de años con gran pluviosidad o sequías extremas, lluvias anticipadas o tardías, posibilidades de granizadas y tormentas, existencia de heladas tempranas en abril o mayo, tardías en julio o agosto o, directamente, sin heladas en inviernos atemperados. Sin embargo, las tecnologías aplicadas desde *revolución verde*¹ hasta el presente se desarrollaron bajo el supuesto de un clima estable.

El cambio climático actual y futuro, y los procesos antes mencionados plantean desafíos para la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios gestionados bajo el paradigma convencional.

La sostenibilidad implica el mantenimiento de las cualidades del bienestar humano, la equidad social y la integridad del medio ambiente a lo largo del tiempo. La sostenibilidad de los sistemas agropecuarios está conceptual y prácticamente conectada con la gestión del riesgo y la incertidumbre. Esta abarca de manera inherente la capacidad del sistema de hacer frente a los shocks transitorios y de adaptarse a los cambios permanentes (Leach et al., 2010).

¹ “Revolución verde” es la denominación usada internacionalmente para describir el importante incremento de la productividad agrícola y, por tanto, de alimentos entre 1960 y 1980 en Estados Unidos y extendida después por numerosos países. Consistió en la adopción de una serie de prácticas y tecnologías, entre las que se incluyen la siembra de variedades de cereal (trigo, maíz y arroz, principalmente) más resistentes a los climas extremos y a las plagas, nuevos métodos de cultivo (incluyendo la mecanización), así como el uso de fertilizantes, plaguicidas y riego por irrigación, que posibilitaron alcanzar altos rendimientos productivos.

Sin embargo, los mecanismos de gestión del riesgo desarrolladas en el marco del paradigma predominante, no son suficientes para garantizar la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios en el largo plazo, ya que aún no incorporaron completamente las ideas de complejidad ni se han ajustado para abordarlas. En consecuencia, se necesitan nuevos enfoques y modelos de gestión se para afrontar un mundo cuyo futuro se espera que enfrente cambios complejos a gran escala.

Teniendo en cuenta la complejidad socio-ecológica de los sistemas agropecuarios mixtos del *Domo Central Agrícola del Chaco*, esta tesis doctoral se propone investigar modelos alternativos de gestión del riesgo y la incertidumbre que sean capaces para conducirlos a trayectorias sostenibles en el mediano y largo plazo. Sin embargo, para que la complejidad del mundo real sea abordable, en este trabajo la sostenibilidad agropecuaria se enfoca, exclusivamente, en la gestión de los riesgos de degradación del suelo en el área del Departamento Maipú específicamente.

Se prioriza dicho riesgo, entre los múltiples peligros que enfrenta una explotación agropecuaria, por los siguientes motivos. En primer lugar, por el marco temporal de mediano a largo plazo en el que se manifiestan procesos de degradación del suelo, que excede al ciclo agrícola y/o ganadero, generalmente de un año, en el que se toman las decisiones de gestión.

En segundo lugar, por la relevancia inmediata que tienen los servicios ecosistémicos del suelo para el logro de al menos nueve de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas. De acuerdo a Weigelt et al. (2015) los suelos y su uso sostenible son fundamentales para garantizar el objetivo 1 de reducción de la pobreza y su meta de acceso a activos económicos (entre ellos tierra); el objetivo 2 de acabar con el hambre; el objetivo 5 sobre la igualdad de género y su meta de acceso de las mujeres a la tierra; el objetivo 6 sobre disponibilidad de agua; el objetivo 7 sobre energía sostenible para todos con sus implicaciones en la producción de bioenergía; el objetivo 12 sobre consumo y producción sostenibles con sus implicaciones para los recursos renovables y el objetivo 13 sobre la capacidad de adaptación a los peligros relacionados con el clima; el objetivo 14 sobre conservación de océanos y mares y reducción de la contaminación terrestre; y el objetivo 15 sobre detener la pérdida de biodiversidad y la degradación de la tierra y esforzarse por lograr un mundo neutral en la degradación de la tierra. Weigelt et al. (2015) enfatizan que el suelo

y el uso de la tierra constituyen también un buen indicador de la dimensión social de la sostenibilidad.

El tercer motivo es personal y está relacionado con mi labor como investigadora en la temática de gestión sostenible de los recursos naturales. Desde hace nueve años trabajo en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en la localidad de Sáenz Peña, en la provincia del Chaco. Mis trabajos de investigación se centraron principalmente en evaluación y gestión riesgo agropecuario, análisis económico de los sistemas productivos, y evaluación de la dinámica y la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios en esta área geográfica. En este recorrido y gracias al conocimiento que fui ganando en terreno sobre los productores y el funcionamiento sistemas agropecuarios, pude comprender que la gestión responsable del suelo tiene un rol preponderante como mecanismo de auto-protección ante la limitada disponibilidad de herramientas de cobertura de riesgos agropecuarios en esta región.

Esta investigación aporta un análisis reflexivo de las practicas agronómicas y de gestión que se realizan en el territorio e introduce la gestión del conocimiento incompleto en sistemas agropecuarios en el territorio, para sentar las bases de implementación de nuevos paradigmas en el futuro.

1.2 Planteo del problema de investigación

El modelo de gestión agropecuaria basado en la intensificación de los sistemas productivos, supone la existencia de un entorno relativamente estable y la existencia de un único equilibrio al cual los sistemas agropecuarios deben converger. Las prescripciones y soluciones tecnológicas en las que se basa la producción de fibras, carnes, granos, maderas, etc. se centran en la búsqueda de estabilidad (de rendimientos y/o de ingresos) y en la gestión de riesgos de corto plazo. El modelo de gestión se centra solo las funciones de provisión del suelo y del ecosistema, desatendiendo los demás servicios ecosistémicos esenciales para la vida terrestre. Tampoco tienen en cuenta la complejidad social y ecológica del territorio, la interdependencia no lineal entre sistema social y natural, las múltiples escalas espaciales y temporales, y los efectos en cascada que van más allá del sitio.

Esto deriva en el uso intensivo de la tierra con tecnologías mal adaptadas, la deforestación, pérdida de biodiversidad, la contaminación, el sobrepastoreo de los animales, lo que desencadena procesos de degradación del suelo tales como erosión hídrica y eólica, pérdida de materia orgánica, desbalance de nutrientes y compactación.

La pérdida de suelo genera una dinámica que afecta negativamente la productividad y la provisión de los demás bienes y servicios del suelo, como la regulación del clima, de los procesos hidrológicos, lo cual, en última instancia, vuelve a los sistemas altamente vulnerables ante la ocurrencia de eventos extremos.

La evidencia muestra que, en el Departamento Maipú, en las últimas dos décadas se ha incrementado la frecuencia e intensidad los eventos climáticos extremos, sobre todo los de sequía. El déficit de agua, que ya es un problema grave debido a la mala distribución, y es probable que se vea exacerbado por el clima cambiante e incierto con el aumento de la frecuencia de los eventos extremos que proyecta para las próximas décadas el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC; Pörtner et al., 2022).

El modelo actual de gestión de riesgos da prioridad a los riesgos inmediatos y de corto plazo y no considera las presiones internas de larga duración, que afectan a las estructuras y funciones de los sistemas. Las herramientas (por ejemplo, seguros, fondos de emergencia gubernamentales) se centran estrictamente en la variabilidad de los ingresos netos anuales del sistema, o incluso en los ingresos netos de un producto específico, y no tienen en cuenta la variación del capital físico y ni la conservación del capital natural, generador de dichos ingresos. Los horizontes temporales son generalmente muy cortos, y no coinciden con las escalas de tiempo en la que se materializan el impacto de las decisiones que se toman en el presente, lo cual reduce la oportunidad de responder más adaptativamente a la creciente complejidad, aleatoriedad y resultados imprevistos y desconocidos. Los modelos de gestión, *encerrados* en el reduccionismo y el corto plazo, muestran falencias para garantizar la sostenibilidad de los sistemas del área de estudio en el largo plazo. Por lo tanto, es necesario buscar caminos o vías alternativas de gestión que les brinden mayor estabilidad, durabilidad, resiliencia y robustez.

Por lo tanto, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué cambios se requieren en las estructuras y funciones y/o en los paradigmas de gestión de los sistemas mixtos del Departamento Maipú, para que los sistemas sean estables, durables, resilientes y robustos, ante los shocks climáticos de corto plazo y las presiones de largo plazo en los suelos?

1.3 Objetivos

a. Objetivo general:

Identificar los cambios estructurales y funcionales que se requieren para que los sistemas mixtos del Departamento Maipú sean estables, durables, resilientes y robustos, ante los shocks climáticos de corto plazo y las presiones edafológicas de largo plazo. Asimismo, identificar los cambios en el paradigma de gestión de los sistemas agropecuarios que abren vías hacia trayectorias sostenibles en el largo plazo.

Objetivos específicos:

- i. Caracterizar el funcionamiento actual de los sistemas agropecuarios del área de estudio
- ii. Obtener conocimiento calificado sobre los principales riesgos edafológicos y climáticos que afectan a la provisión presente y futura de bienes y servicios ecosistémicos de dichos sistemas.
- iii. Obtener conocimiento experto sobre prácticas que otorguen estabilidad, durabilidad, resiliencia y robustez a los sistemas agropecuarios.
- iv. Identificar los ajustes en los modelos de gestión para que sean específicos para el área geográfica de estudio.

1.4 Hipótesis

La hipótesis implícita en el objeto de estudio es que la sostenibilidad de los sistemas de producción, en el área de producción bajo estudio, requiere adoptar un enfoque de gestión diferente, que equilibre la eficiencia a corto plazo con la transformabilidad a largo plazo, implementando tanto cambios incrementales como cambios radicales. En lugar de buscar

optimizar actividades de producción dentro de un marco que se considera “estable”, un paradigma alternativo debería aceptar la ubicuidad del cambio, y centrarse en hacer frente a las crisis y la adaptación para gestionar el riesgo y la incertidumbre.

A continuación, se describe sucintamente la estructura (**preliminar**) que tiene la tesis. En el **capítulo 1** se introduce el problema de investigación, los objetivos, la hipótesis y los alcances de la investigación. Se describe el proceso de intensificación agropecuaria, los problemas y externalidades que ha generado en el territorio, y se plantea como problema de investigación la búsqueda de vías o caminos alternativos hacia la sostenibilidad. En el **capítulo 2** se exponen los distintos marcos conceptuales adoptados para abordar los diferentes aspectos que hacen a la complejidad del problema de investigación. Se introduce el paradigma de la complejidad aplicado a los sistemas agropecuarios y el enfoque Vías a la Sostenibilidad y la heurística utilizada en este trabajo para dilucidar caminos alternativos más sostenibles. En el **capítulo 3** se define y se describe el sistema Suelo, sus proceso y funciones, y los principales procesos de degradación asociados a las prácticas agropecuarias. El objetivo aquí es brindar los conceptos tomados de las Ciencias del Suelo, que se emplearán en lo que resta de la investigación. En el **capítulo 4**, se presenta el diseño metodológico y una descripción detallada del área geográfica, que incluye sus características ambientales, estructura productiva y la dinámica de transformación territorial, enfocada en el cambio del uso del suelo. El marco metodológico se divide en dos partes. Por un lado, se detalla la metodología utilizada para realizar una clasificación de los sistemas productivos presentes en el territorio; seguidamente, se expone el Método Delphi Fundamentado utilizado para implementar la heurística del enfoque de *Vías*, y responder la pregunta central de investigación. En el **capítulo 5** se presentan los resultados de la investigación. En línea con la estructura del capítulo 4, en primer lugar, se exponen los resultados del análisis exploratorio de la diversidad y tipos de sistemas productivos y su forma de funcionamiento actual; seguidamente, se presentan los resultados del proceso Delphi Fundamentado, siguiendo su estructura metodológica, empezando por los resultados de la codificación abierta, siguiendo con los resultados de la codificación axial, y finalmente los resultados de la codificación selectiva. La codificación selectiva termina con las proposiciones teóricas de la tesis. En el **capítulo 6** se discuten las implicancias de los resultados de la investigación para la gestión agropecuaria y para la política de la gestión de riesgo agropecuario; los alcances y

limitaciones de la investigación, y las posibles líneas de investigación que deberían emprenderse para darle continuidad a este estudio.

CAPITULO 2: Del reduccionismo a la complejidad para abordar la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios

2.1 Introducción

En este capítulo se presenta el marco conceptual y epistemológico de la tesis, construido a partir del análisis reflexivo de las prácticas de gestión e investigación que predominan en el ámbito agropecuario. El marco teórico se sustenta principalmente en dos escuelas de pensamiento que utilizan el pensamiento sistémico para abordar los problemas de la sostenibilidad: el enfoque “*Investigación de Sistemas Agrícolas*”² (FSR, por sus siglas en inglés) y “*Vías a la sostenibilidad*” del Centro STEPS³ de la Universidad de Sussex de Reino Unido, enfoque al que en esta investigación me referiré simplemente como “*Vías*”. Asimismo, en el marco conceptual hay algunas reminiscencias del *Pensamiento de Resiliencia* (Berkes & Folke, 1998; Folke et al., 2010; Resilience Alliance, 2010; Walker & Salt, 2012).

FSR (Collinson, 2000; Darnhofer et al., 2012a, 2012b) es una escuela de pensamiento que abarca una amplia gama de métodos y enfoques para estudiar específicamente a los sistemas donde las fincas agropecuarias son uno de sus componentes. Este enfoque comenzó a desarrollarse en la década de 1970 como respuesta a los enfoques técnicos reduccionistas previos, asociados a la *Revolución Verde*⁴, que centaban el desarrollo agrario y la transferencia de tecnología sólo en un elemento del sistema agrícola, como, por ejemplo, las semillas o los insumos. Todo esto dentro de un contexto de especialización disciplinaria en la investigación orientada a los *commodities*; esquemas de investigación y transferencia lineales y de arriba hacia abajo; una orientación productivista de la agricultura y la modernización intensiva en capital como modelo deseable de desarrollo, implementada

² <https://ifsa.boku.ac.at/cms/index.php?id=138>

³ <https://steps-centre.org/>

⁴ Revolución Verde es el nombre con el que se conoce al paradigma de producción surgido en la década de 1950 cuando la comunidad internacional se enfrentó al problema de una aparente escasez de producción de alimentos en el "Tercer Mundo", lo cual llevó a las potencias occidentales a lanzar una “guerra contra el hambre” mediante el desarrollo de tecnologías intensivas en el uso de insumos que apuntan al incremento de la productividad de los factores. La suposición subyacente era que los rendimientos suficientemente altos equivaldrían a "no pasar hambre".

mediante innovación tecnológica, la ampliación de escala y la especialización de las fincas Darnhofer et al. (2012a).

Leach et al. (2010) comentan que los enfoques reduccionistas prácticamente no tenían en cuenta la dinámica de sistemas complejos y funcionaban mejor en áreas donde las fuentes de variabilidad e incertidumbre eran reducidas, lo cual resultaba problemático en la gran mayoría de entornos agrícolas en el mundo en desarrollo, donde el contexto era mucho más complejo, diverso y riesgoso. Y que este era particularmente el caso cuando los modelos se exportaban del mundo desarrollado al mundo en desarrollo, o del laboratorio o estación de investigación experimental al campo. Por lo tanto, no es solo la dinámica lo que importa, sino que es la dinámica en contexto la que es particularmente crítica.

Por su parte, Darnhofer et al. (2012a) que las explotaciones agrícolas europeas eran diversas, muchas de ellas familiares y orientadas hacia la multifuncionalidad, y no seguían necesariamente la lógica de producción subyacente en el paradigma convencional, y que las actividades, las opciones tecnológicas y los métodos de producción se vinculaban a proyectos familiares y estilos de vida agrícolas, y se incrustaban en los territorios dentro de sus paisajes naturales y dentro de redes sociales.

En ese contexto FSR surgió para abordar a los sistemas agropecuarios desde un enfoque sistémico más interactivo, orientado a los sistemas, que fuera más holístico e integrador y, en particular, abordara las cuestiones sociales y económicas más amplias, junto con las cuestiones técnicas (Leach et al., 2010). FSR dio un giro hacia la investigación interdisciplinaria, se desarrollaron nuevos enfoques de investigación combinando conocimiento científico con el de los agricultores y otros actores, lo cual dio paso a los enfoques participativos centrados en el aprendizaje y la acción. En este trabajo se utiliza la lente de FSR para conceptualizar a los sistemas agropecuarios, tomándose también algunos elementos del *pensamiento de resiliencia*. En breve, este marco ofrece una forma de entender el mundo y un enfoque para administrar los recursos, a partir del cual se trata la dinámica y el desarrollo de los sistemas humanos y naturales como entidades complejas que se adaptan continuamente a través de ciclos de cambio. Busca comprender las cualidades de un sistema que debe mantenerse o mejorarse para lograr la sostenibilidad, recurriendo a tres aspectos centrales: resiliencia, adaptabilidad y transformabilidad (Folke et al., 2010). Explica por qué

una mayor eficiencia por sí sola no puede resolver los problemas de recursos y ofrece una alternativa constructiva que abre opciones en lugar de cerrarlas (Walker & Salt, 2012). Aunque este enfoque tiene un énfasis creciente en la literatura, y sus aportes sin dudas merece mucha más atención, el marco conceptual de este trabajo no lo aborda en su totalidad, sino que hace referencia a elementos específicos que contribuyen a su construcción.

Para conceptualizar la dinámica y la sostenibilidad de los sistemas se recurre al enfoque *Vías a la Sostenibilidad*. Este es un marco conceptual de la sostenibilidad que vincula la cuestión ambiental con la reducción de la pobreza y la justicia social, y busca que la ciencia y la tecnología funcione para los más vulnerables (Leach et al., 2010). Aquí la sostenibilidad se refiere a las cualidades explícitas del bienestar humano, la equidad social y la integridad ambiental, y las cualidades particulares del sistema que pueden sustentarlas. Todos estos objetivos de sostenibilidad son específicos del contexto e inevitablemente están sujetos a deliberación y negociación, tanto en lo que hace a la definición de lo que se va a sostener, como la o las vías que se utilizan para llegar hasta allí. Como lo explican Leach et al. (2010), este es un proceso altamente político, más que técnico, donde se destaca la importancia de la *dinámica* entre los procesos sociales, tecnológicos y ecológicos, el *conocimiento incompleto*, los *múltiples encuadres* y la *normatividad*, como se explica, más adelante, en los apartados siguientes.

Tanto FSR como el enfoque de *Vías* tienen en común que utilizan el pensamiento sistémico arraigado en el paradigma de la complejidad, son interdisciplinarios, y promueven los enfoques participativos. El enfoque de *Vías* se aplica a todo tipo de sistemas cuyas dinámicas contemplen procesos tecnológicos, ambientales, económicos y sociales; FSR se aplica a todos los sistemas donde las fincas agropecuarias sean uno de sus componentes. En ese sentido, ambos enfoques se complementan y ayudan a comprender el problema de investigación de esta tesis.

El desarrollo del marco teórico comienza en el apartado 1.2 con la conceptualización de los sistemas agropecuarios desde la perspectiva del pensamiento sistémico y de los sistemas adaptativos complejos; en los apartados siguientes, se expone de manera contrastante el paradigma convencional de gestión agropecuaria y los problemas que implican para la sostenibilidad (apartado 1.3) del uso del suelo y para la gestión del riesgo y de la

incertidumbre (apartado 1.4). Finalmente, en el apartado 1.5 se aborda teóricamente la dinámica y la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios y la forma en que se aplicarán estos conceptos a la gestión sostenible del suelo.

2.1 Los sistemas agropecuarios como sistemas adaptativos complejos

Folke et al. (2010) señalan que muchos de los serios y recurrentes problemas en el uso y manejo de los recursos naturales provienen de la falta de reconocimiento de que los ecosistemas y los sistemas sociales que los utilizan y dependen de ellos, están complejamente entrelazados. La literatura del *pensamiento de resiliencia* ofrece el concepto de **sistemas socio-ecológicos (SSE)** para hacer referencia a la interdependencia dinámica de los sistemas ecológicos y sociales. Los SSE son sistemas en los que múltiples escalas espaciales (sitios de acción locales, regionales, nacionales e internacionales) están vinculadas en una representación compleja (Folke et al., 2010).

Durante el siglo pasado, se desarrolló un amplio campo conocido como *ciencia de la complejidad*, con una variedad de desarrollos⁵. Estos contribuyeron conjuntamente a una apreciación creciente de la importancia de las perspectivas dinámicas (en lugar de estáticas), basadas en un análisis holístico (en lugar de reduccionismo), reconociendo la dependencia del contexto y los efectos condicionantes de la estructura (Leach et al., 2010).

Como un marco para comprender a los SSE, la ciencia de la complejidad propone los *Sistemas Adaptativos Complejos* (CAS, por sus siglas en inglés) (Turner & Baker, 2019). Los CAS son sistemas dinámicos abiertos, capaces de autoorganizar su configuración estructural a través del intercambio de información, energía y otros recursos dentro de su entorno, y son capaces de transformar estos recursos para dar soporte a la acción (Larson, 2016, citada en Turner & Baker, 2019). Son sistemas autoorganizados donde las fuerzas externas tienen poco o ningún control directo sobre ellos. Al tener constantes interacciones orgánicas dentro y entre sistemas, estos aprenden a adaptarse a las fuerzas externas, y a transformarse a nuevos estados, una vez que han aprendido a adaptarse a su nuevo entorno. Este concepto clave es conocido como *emergencia* dentro de la literatura de complejidad.

⁵ Leach et al. (2010a, p. 22) ofrecen un buen racconto estos desarrollos.

Los sistemas agropecuarios pueden ser concebidos como CAS que operan a escala local del SSE. Los sistemas están conformados por componentes físicos, biológicos y socioeconómicos, sometidos a diferentes ciclos de adaptación a largo plazo.

Los productores, con sus conocimientos, valores y reglas de decisión, gestionan y utilizan comunidades de plantas, animales, el ambiente biofísico y sus interacciones (Gomiero et al., 2006; van Apeldoorn et al., 2011). Los agentes se adaptan (aprenden) a medida que interactúan con otros agentes y el entorno. Esto difiere de los sistemas donde las interacciones entre los componentes son fijas o permanecen iguales en el tiempo. En sistemas adaptativos complejos, los vínculos entre elementos cambian y los agentes cambian su percepción como resultado del aprendizaje (Schiere et al., 2012).

Como resultado, las reglas cambian con el tiempo y así, los sistemas se encuentran en un proceso continuo de devenir (Scoones et al., 2007). Los sistemas agropecuarios mutan, cambian o emergen como resultado de dinámicas internas, y como resultado de la evolución conjunta del sistema agrícola con su contexto (Schiere et al., 2012). Esta mutación implica un cambio que, aunque en general es impredecible, no es aleatorio ni determinista, sino que ciertos modos básicos actúan como atractores (Schiere & Grasman, 1996), con lo cual, ciertos patrones emergentes (comportamientos) o modos básicos tienden a repetirse. Por lo tanto, aunque los sistemas agropecuarios cambien, tienden a permanecer en una trayectoria “por defecto”. Si bien un modo básico puede ser eficiente (óptimo) en un contexto, es probable que se adapte mal en un conjunto diferente de condiciones. En otras palabras, lo que es apropiado y lo que es eficiente depende siempre del entorno.

2.2 El paradigma convencional de gestión agropecuaria

La trayectoria predeterminada es el resultado de la aplicación de modelo de gestión de los recursos naturales que Holling y Meffe (1996) denominan de “comando y control”. Este modelo se centra en la búsqueda de eficiencia en la producción y la creación de condiciones óptimas para maximizar los beneficios. Para esto se suprime y se reduce la complejidad de los ecosistemas, el rango de variación natural, su estructura, función, o ambos, con la intención de aumentar su estabilidad y lograr un flujo predecible de producción. Se convierten pastizales naturales y multiespecíficos en monocultivo, se controlan los procesos, a través del uso insumos químicos para controlar las plagas y reducir la competencia de

nutrientes de las malezas, se regula la oferta de agua mediante irrigación o drenaje y se reorganizan los patrones de campo para reducir los efectos de frontera y aumentar la productividad de la mano de obra (Darnhofer et al., 2010).

Los controles ecológicos naturales de los ecosistemas se reemplazan por constructos de ingeniería o *soluciones tecnológicas* que en principio parecen estar completamente bajo el control del hombre (C. s. Holling & Meffe, 1996). Estas soluciones, por lo general son muy efectivas en pequeñas escalas y en plazos cortos de tiempo, sin embargo, en el largo plazo genera un tipo de dinámica que socava la integridad del sistema objetivo y hacer que este sea cada vez más vulnerable a las perturbaciones, por la reducción en la variación y de complejidad (Cox, 2016).

Como señalan Holling y Meffe (1996), los monocultivos son notoriamente susceptibles a los efectos de la sequía, las inundaciones, los brotes de insectos o patógenos y a los caprichos del mercado. En consecuencia, requieren grandes aportaciones de energía (fertilizantes, pesticidas, herbicidas, irrigación) y a menudo, grandes subsidios sociales (en forma de apoyo de precios, préstamos subsidiados, ayuda en casos de desastre y compras de excedentes) cuando se producen perturbaciones externas. La sorpresa se intensifica por el hecho de que el cambio ecológico no es gradual y local, sino súbito y extenso.

Además, la supresión y simplificación no afecta a las funciones ecológicas sino también a las funciones sociales del ecosistema (Cox, 2016; Scott, 1998), ya que las soluciones tecnológicas no tienen en cuenta las condiciones socio-económicas de quienes utilizan los ecosistemas. Como resultado, las reglas y tecnologías tienden a “ajustarse mal” con estas condiciones. Leach et al. (2010) argumentan que cuando tales respuestas fallan frente a las dinámicas e incertidumbres locales, la respuesta tiende a ser implementar con más fuerza, en este caso la intensificación agropecuaria, o culpar a los locales por la falta de ajuste, en lugar de cuestionar los supuestos subyacentes.

En consecuencia, por la disminución de la complejidad socioecológica y la falta de adaptación, el sistema SSE más amplio también comienza a deteriorarse (Cox, 2016). Si bien se desarrollan correcciones técnicas adicionales para responder a las expresiones sintomáticas de degradación, estas no llegan a afectar los impulsores subyacentes de los nuevos problemas (Holling & Meffe, 1996), los cuales quedan desacoplados de las

experiencias de los tomadores de decisiones, evitando que el sistema de gobernanza del SSE haga cambios fundamentales (Cox, 2016).

De esta manera, el sistema se *encierra* en sus prácticas de simplificación analítica y control, proceso que es parte de otro proceso más general de *dependencia de la trayectoria*, discutido ampliamente en la literatura relacionada con el cambio tecnológico, económico e institucional (Arthur, 1989; North, 1990; Pierson, 2000)⁶.

De acuerdo a Leach et al. (2010), el proceso de *cierre* dentro de una única trayectoria, vía o camino se produce por una serie de presiones políticas, procedimentales e institucionales que hacen que los actores poderosos e instituciones se comprometan con caminos particulares que enfatizan el mantenimiento de la estabilidad, el control y solo uno de cuatro aspectos del conocimiento incompleto, la gestión del riesgo. Al hacerlo, a menudo crean enfoques universalizadores y generalizadores que, a su vez, pueden oscurecer o negar la realidad de trayectorias alternativas.

Sin embargo, aunque las trayectorias “por defecto” son la evolución más probable del SSE, estas no son inevitables ni predeterminadas, ya que los actores pueden elegir involucrarse en el diseño del sistema, desviándolo hacia una trayectoria diferente, más sostenible en el largo plazo (Schiere et al., 2012).

Para el enfoque de vías esto depende de que los mecanismos de gobernanza (esto es, procesos políticos e institucionales) se “abran” a abordar todas las implicaciones de la dinámica y el conocimiento incompleto y a métodos y prácticas que involucran flexibilidad, diversidad,

⁶ El concepto de “dependencia de la trayectoria” hace referencia a cómo las tecnologías podrían eventualmente convertirse en soluciones subóptimas para los desafíos nuevos y emergentes debido a las normas asociadas con un régimen tecnológico particular. El bloqueo existe debido a procesos de “auto-refuerzo” que operan a través de tres mecanismos: complementariedad entre los componentes de la tecnología y sus usos, la economía de escala asociada con el uso incremental de la tecnología y la inercia de costos hundidos debido a la dificultad de pasar de las tecnologías predominantes a las nuevas. Aunque se refuerzan entre sí, estos mecanismos crean conjuntamente las condiciones para privilegiar un conjunto de opciones sobre alternativas nuevas y más eficientes, inhibiendo el despegue de tecnologías superiores a las subóptimas, generando así el bloqueo (Chhetri et al., 2010).

adaptación, aprendizaje y reflexividad, y una política alternativa de sostenibilidad que destaque y apoye caminos alternativos.

2.3 El sistema agropecuario frente a los estados del conocimiento incompleto

Las explotaciones agropecuarias, concebidas bajo un enfoque de sistemas, se definen como un conjunto de componentes en interacción entre los que se incluyen los cultivos, pastos, animales, el suelo y clima, junto con ciertos insumos y productos físicos. La disposición de estos componentes define las características estructurales del sistema, mientras que los intercambios de materia, energía e información con el ambiente biofísico y socio-económico, definen sus componentes funcionales.

El enfoque tradicional de gestión agropecuaria considera que las interacciones entre los componentes del sistema son fijas, y que las “reglas del juego” permanecen iguales en el tiempo (Schiere et al., 2012). Este enfoque de gestión está asociado con la noción de *estabilidad* de un sistema y con la existencia de un *equilibrio* o punto *óptimo* al cual el sistema debe converger.

En la teoría de los sistemas dinámicos, la *estabilidad* de un sistema se refiere a como este responde a las perturbaciones a lo largo del tiempo. El sistema puede ser asintóticamente estable si vuelve a su estado original, o inestable si cambia de estado. Si el sistema es asintóticamente estable o si se establecen controles para mantener la estabilidad se suma previsibilidad al sistema. Estos controles también pueden actuar como amortiguadores de perturbaciones externas, con el fin de mantener un estado deseado (Turner & Baker, 2019).

Bajo el paradigma de gestión convencional se busca aumentar la productividad y la estabilidad de los rendimientos con el fin de lograr un flujo predecible de producción y maximizar el beneficio económico. Si un shock o perturbación aleja al sistema de su equilibrio, se toman medidas de control adicionales para retornar al equilibrio. Bajo este enfoque, que el sistema sea *sostenible* implica que el mismo sea reversible, es decir que, si el sistema cambia de estado, que sea capaz de volver a su estado inicial.

Por lo tanto, se enfatiza en las estrategias de gestión del *riesgo* para que el sistema agropecuario persista en medio del cambio. En el análisis económico convencional, el término “*riesgo*” está asociado a la probabilidad de que ocurra un evento o resultado indeseable. Supone el conocimiento de la naturaleza de los resultados y su probabilidad de

ocurrencia; implícitamente, supone que las ocurrencias futuras pueden predecirse (a menudo derivado de datos históricos). Cuando no se conoce la probabilidad, se utiliza el término “*incertidumbre*” (Knight, 1921). Sin embargo, observa Stirling (1999), dado que el *riesgo* se representa como el producto simple de dos dimensiones: *probabilidades* y *resultados*, esta definición implica otros dos tipos de estados de conocimiento incompleto que el enfoque económico estándar generalmente se relega: la *ambigüedad*, que se presenta cuando la caracterización de los resultados o posibles estados de la naturaleza es problemática; y la *ignorancia*, que está asociada a resultado y probabilidades desconocidos (ver Figura 1).

Figura 1. Estados del conocimiento completo

| | | <i>Resultados</i> | |
|-----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | | Conocidos | Desconocidos |
| <i>Probabilidades</i> | Conocidas | RIESGO | AMBIGUEDAD |
| | Desconocidas | INCERTIDUMBRE | IGNORANCIA |

Fuente: adaptado de Leach et al. (2010)

Siguiendo a Leach et al. (2010), bajo la definición estricta de *incertidumbre* (cuadrante inferior izquierdo de la Figura 1) se pueden caracterizar los diferentes resultados posibles pero la información empírica disponible no representa una base definitiva para asignar probabilidades. Si bien se pueden ejercer juicios subjetivos y tratarlos como base para el análisis sistemático, tales juicios pueden tomar formas diferentes, igualmente plausibles; por lo tanto, en lugar de reducirlo a un solo valor esperado o a una recomendación prescriptiva, el enfoque riguroso debería resultar en la apertura a una variedad de posibles interpretaciones de los resultados.

Los autores argumentan que bajo la condición de ambigüedad (cuadrante superior derecho), lo problemático no son las probabilidades sino la caracterización de los resultados mismos. Por ejemplo, pueden existir desacuerdos sobre la selección, partición, delimitación,

medición, priorización o interpretación de los resultados. Estos pueden ser formas cualitativamente diferentes de daño, pueden tener consecuencias en diferentes marcos de tiempo, o en diferentes formas de vida. Por lo tanto, las reducciones a una sola imagen 'científica sólida' tampoco son ni rigurosas ni racionales.

Asimismo, bajo condición de ignorancia (cuadrante inferior derecho) ni las probabilidades ni los resultados pueden caracterizarse por completo, y el sistema se enfrenta al prospecto siempre presente de la “sorpresa”.

En un sistema socio-ecológico, los cuatro aspectos generalmente ocurren conjuntamente y en diversos grados. El enfoque de *Vías* sugiere que, al reconocerse las diferentes propiedades de estos estados contrastantes de conocimiento, se puede obtener información importante sobre los desafíos para la sostenibilidad.

2.4 *Vías* a la Sostenibilidad

El cambio climático y la desertificación y otros problemas asociados con el cambio ambiental, ya sea en forma de enfermedades, pérdida de biodiversidad o escasez de agua, hoy en día se consideran fundamentales para la estrategia y la planificación económica, y existen oportunidades claras para la inserción de agendas de sostenibilidad en el discurso político y para promover nuevas formas de gestión.

Estos problemas tienen dimensiones ecológicas, económicas, sociales y políticas que se entrelazan entre sí, tienen dimensiones locales y globales, e involucran dinámicas complejas y cambiantes que tienen un impacto en los medios de vida y el bienestar humano.

En enfoque de *Vías* sugiere que para evitar que los debates sobre la sostenibilidad den lugar a una gran confusión y vaguedad, y que las “soluciones” promovidas o se conviertan en intentos administrativos y burocráticos inapropiados para resolver problemas que en la realidad son complejos y políticos, es necesaria una aclaración más concreta de lo que se entiende por “sostenibilidad”.

Leach et al. (2010) argumenta que en los debates políticos posteriores a Brundtland y post-Agenda 21 sobre sostenibilidad⁷, el uso del término es explícitamente normativo. Sin embargo, afirman los autores, se debe distinguir entre los diferentes puntos de vista normativos de la sostenibilidad, reconociendo que existen múltiples sostenibilidades que deben definirse con bastante precisión para temas y grupos particulares.

Entonces es necesario especificar distintas versiones de sostenibilidad en términos de las propiedades de los sistemas y flujos particulares de bienes y servicios valorados por distintos grupos sociales particulares, en la búsqueda de objetivos particulares. Esto implica reconocer que la sostenibilidad como un recurso disputado y discursivo que facilita el debate sobre diversas vías hacia diferentes futuros, lo cual lleva a la sostenibilidad firmemente al ámbito de lo político.

Por lo tanto, en lugar de tratar la sustentabilidad en un sentido coloquial general, que implica el mantenimiento de características (no especificadas) de los sistemas a lo largo del tiempo, el enfoque de *Vías* se preocupa por sus implicaciones normativas específicas. La sostenibilidad se refiere a las cualidades explícitas del bienestar humano, la equidad social y la integridad ambiental, y las cualidades particulares del sistema que pueden sustentarla. Todos estos objetivos de sostenibilidad son específicos del contexto e inevitablemente discutidos en un proceso altamente político.

2.5 Dinámica y sostenibilidad de los sistemas agropecuarios

Con la premisa de explicitar *lo que se debe sostener* y mediante que *vías*, el enfoque proporciona una heurística. De acuerdo a esta, la sostenibilidad abarca inherentemente la

⁷ Si bien el tema de la *sostenibilidad* estuvo en la agenda académica desde mucho tiempo antes, no fue hasta la década de 1980 que se volvió un tema importante en el ámbito político y de la gobernanza. El punto focal de este debate fue la Comisión mundial sobre medioambiente y desarrollo de Naciones Unidas, que culminó en el informe histórico *Nuestro futuro común* en 1987 (Brundtland, 1987). A partir de allí, proliferaron múltiples versiones de sostenibilidad: amplia y estrecha, fuerte y débil, y más. La conferencia de Naciones Unidas de 1992 en Río de Janeiro lanzó una serie de procesos de alto nivel de convenciones sobre cambio climático, biodiversidad y desertificación, en el que se establecieron comisiones y se pusieron en marcha procesos de planificación de acción nacional para un sistema de información global en función de los objetivos acordados. Al mismo tiempo, se concibió un proceso más local y dirigido por la comunidad, la Agenda 21, que contemplaba la sostenibilidad desde abajo hacia arriba a través de iniciativas locales por parte de los gobiernos locales y la comunidad. El resultado fue un crecimiento exponencial en los enfoques de planificación, marcos de análisis, indicadores de medición, sistemas de auditoría y protocolos de evaluación que ayudarían a los gobiernos (Leach et al. 2010).

capacidad del sistema de adaptarse tanto a los *shocks* transitorios como a los cambios permanentes o *estrés*. Los *shocks* son definidos como una perturbación transitoria a corto plazo en las condiciones experimentadas por el sistema. Gallopin (2006) define a los *shocks* como un pico importante en la presión que va más allá del rango normal de variabilidad en el que opera el sistema que, generalmente, se origina externamente.

El *estrés* es definido como un cambio secular a largo plazo en las condiciones experimentadas por el sistema; es una presión continua, o de aumento lento, comúnmente dentro del intervalo de variabilidad normal. A menudo se origina fuera del sistema, aunque los factores estresantes (elementos que precipitan un resultado no deseado) residen dentro de él.

Además, Gallopin (2006) sostiene que ambos tienen la potencialidad de inducir una transformación significativa en el sistema, ya sea de manera lenta o súbita. Los cambios podrían ir desde variaciones en el comportamiento de algunas variables del sistema hasta cambios radicales en la estructura del mismo.

Gunderson y Holling (2002) afirman que si bien es probable que los sistemas socio-ecológicos pasen la mayor parte del tiempo en períodos de cambio gradual, estos pueden ser interrumpidos por perturbaciones episódicas más cortas que pueden reconfigurar el sistema. Es probable que períodos prolongados de relativa estabilidad y cambios graduales se vean interrumpidos repentinamente por un *shock*, cuyo momento y origen no se puede prever (Gunderson & Holling, 2002).

Las acciones para hacer frente a ambos tipos de perturbaciones pueden ser también cualitativamente diferentes, dependiendo de si el objetivo es *controlar* las causas del cambio o *responder adaptativamente* a ellas. Con respecto a lo que implica “controlar” y “responder”, Leach et al. (2010) no dan ninguna precisión, probablemente, porque esto depende del contexto y del sistema bajo estudio. Por lo tanto, aquí se recurre a la literatura de *Adaptación al cambio climático* (Adger et al., 2009; Kates et al., 2012; Pahl-Wostl, 2009; Pelling, 2010; Rickards & Howden, 2012), del enfoque de *Investigación de Sistemas Agropecuarios* (Darnhofer, 2014; Darnhofer et al., 2010, 2016) y del *Pensamiento de Resiliencia* (Folke et al., 2010; Gunderson & Holling, 2002) para explicitar el significado de *acciones de control* y de *respuesta adaptativa* dentro del contexto de un sistema agropecuario que debe persistir en medio del cambio.

En este trabajo, las *acciones de control* se definen como acciones que movilizan recursos frente a la disrupción, establecen prioridades, combinan experiencia y conocimiento para ajustar las respuestas a un contexto cambiante. Son acciones donde hay *aprendizaje de bucle simple*⁸: se soluciona un problema haciendo algo diferente, pero sin cuestionar o cambiar las creencias y valores básicos. Un desajuste entre las expectativas y el desempeño se resuelve mejorando las prácticas actuales para que el desempeño futuro esté dentro del rango de las normas y valores existentes (Maarleveld & Dangbegnon, 1999). Son adaptaciones incrementales que mantienen al sistema dentro del mismo régimen, y no producen algo radicalmente nuevo.

Por otra parte, las *acciones de respuesta adaptativa* se definen como aquellas que apuntan a una transformación más radical del sistema y sus procesos, buscando, por un lado, evitar un cambio transformador de carácter involuntario, incontrolado o negativo (Rickards & Howden, 2012); y por otro, aprovechar lo que se ve como oportunidades emergentes. Hay *aprendizaje de bucle doble*, es decir, el *feedback* que se recibe del entorno comienza a generar cambios en los supuestos en los que se basaron las prácticas. Por lo tanto, son adaptaciones vinculadas a cambios en los supuestos operativos, en la percepción y el significado, nuevas reglas de decisión, nuevos patrones de interacción entre los actores, que surgen como resultado de las retroalimentaciones. Implica una transición a un nuevo sistema, donde un conjunto diferente de factores se vuelve importante en el diseño y la implementación de las estrategias de respuesta.

Continuado con la descripción de la heurística de *Vías*, de la combinación de las dos categorías de perturbaciones (*shock* y estrés) con las dos categorías de acciones (control-respuesta adaptativa), emergen cuatro propiedades dinámicas de los sistemas: *estabilidad*, *durabilidad*, *resiliencia* y *robustez*.

Cuando los shocks son transitorios y las estrategias de gestión están dirigidas a ejercer el control (Figura 2, cuadrante superior izquierdo) se busca la *estabilidad*.

⁸ Los bucles de aprendizaje de Argyris y Schön (1996) proporcionan un modelo útil para distinguir diferentes dominios del aprendizaje involucrados en la gestión de recursos.

En cambio, si las estrategias de gestión pretenden responder a *shocks* transitorios de una manera más flexible o receptiva (cuadrante superior derecho), los sistemas se vuelvan más *resilientes*.

En otras condiciones, el sistema puede estar sujeto a tensiones importantes, impulsando cambios a largo plazo; las intervenciones podrían intentar controlar los cambios potenciales (cuadrante inferior izquierdo), con el objetivo de lograr la *durabilidad*; o alternatively, reconocer los límites de las estrategias de control y estar abiertos a los cambios duraderos implementando estrategias dirigidas a la *robustez* (cuadrante inferior derecho).

Figura 2. Propiedades dinámicas de los Sistemas

| | | Estilo de acción | |
|----------|--------------------------------------|------------------|-------------|
| | | Control | Respuesta |
| Duración | <i>Shock</i> (cambio transitorio) | ESTABILIDAD | RESILIENCIA |
| | Estrés (cambio permanente) | DURABILIDAD | ROBUSTEZ |

Fuente: Leach et al. (2010); Scoones et al., 2007

Las cuatro propiedades dinámicas implican la capacidad de mantener la estructura o el valor funcional del sistema. De acuerdo a Leach et al. (2010) las cuatro propiedades son elementos individualmente necesarios y colectivamente suficientes de la sostenibilidad.

No obstante, los sistemas, sus objetivos y propiedades están abiertos a múltiples *encuadres* que comprenden los supuestos, métodos, formas de interpretación y valores contextuales particulares que diferentes grupos pueden aportar a un problema y dan forma a cómo se delimita y se entiende el sistema. Tales *encuadres* toman la forma de diversas *narrativas* o argumentos sobre un problema dado (cómo ha surgido, por qué es importante y qué hacer al respecto).

Por ejemplo, en el caso de las semillas transgénicas (genéticamente modificadas), es frecuente escuchar el discurso de que “el aumento de la población mundial llevará a déficits alimentarios, lo cual requiere incrementos masivos de la productividad agrícola y solo los cultivos transgénicos proporcionarán la respuesta”. Las formas en que se crean las narrativas involucran juicios de valor sobre qué y quién está incluido y excluido, y qué temas, preguntas y soluciones se priorizan. Por otro lado, para cualquier problema dado, es posible identificar un rango de diferentes narrativas que vinculan diferentes marcos de sistemas con metas y valores particulares. Si bien los discursos son producidos por actores y redes particulares, las mismas personas pueden aliarse con diferentes narrativas en diferentes momentos y en diferentes contextos. Discursos diferentes conducen a evaluaciones radicalmente diferentes de las opciones de políticas. Incluso entre los diferentes actores en el campo de la política, diferentes marcos de sistemas son importantes y conducen a narrativas muy distintas sobre las formas de intervención y acción. Por lo tanto, los caminos hacia la sostenibilidad se construyen a través de decisiones que deben abordar explícitamente la pugna y los *trade-offs* entre propiedades dinámicas de sistemas que son tan diferentes como lo son sus marcos y narrativas.

Esto lleva a que las cuatro propiedades dinámicas no sean políticamente simétricas. Como ya se mencionó, por lo general se experimenta un proceso de *cierre* hacia las narrativas que promueven la *estabilidad*.

Urruty et al. (2016) señalan que en ciencias agrícolas el concepto de *estabilidad* se utiliza principalmente como un criterio para medir la constancia espacial o temporal de características específicas de componentes individuales (p. ej., genotipos) o productos (p. ej., rendimiento o ingresos) de los sistemas agrícolas. Por ejemplo, la estabilidad de los genotipos se utiliza ampliamente en programas de fitomejoramiento para identificar genotipos que mantienen características específicas (por ejemplo, rendimiento o contenido de proteína en el grano) en una amplia gama de entornos; el análisis de estabilidad también se aplica para comparar la estabilidad temporal de diferentes tratamientos agronómicos en experimentos de largo plazo. Al no aplicarse un enfoque más integrado, otras propiedades dinámicas de la sostenibilidad, como atender a cambios a más largo plazo o a impactos o tensiones que no se pueden controlar, a menudo se minimizan o se descuidan.

Leach et al. (2010) atribuyen este desvío a una variedad de presiones institucionales y político-económicas. Por un lado, las dinámicas de poder inevitablemente alientan y permiten que las instituciones busquen estrategias que mantengan el *statu quo*. Por otra parte, estilos de pensamiento profundamente arraigados en el supuesto (erróneo) de *equilibrio* en las relaciones entre los humanos y la naturaleza como estado *normal* y deseable. Discursos profesionales y disciplinarios particulares que se han construido y elaborado sobre tales nociones, marginan las interpretaciones y teorías alternativas en el proceso.

Por ejemplo, vale mencionar que Holling (1973) introdujo una visión de no-equilibrio en ecología con el concepto de *resiliencia ecológica*. Demostró que incluso los sistemas ecológicos naturales, no perturbados, a menudo se encuentran en estados transitorios y demostró que muchos de ellos son *multiestables*; es decir, tienen dos o más dominios de atracción donde las variables del sistema tienden a permanecer. Dentro de cada dominio, el estado del sistema puede fluctuar ampliamente (es decir, puede ser muy inestable) pero si tiende a permanecer dentro de los límites del dominio, el sistema es resiliente.

Y este es precisamente el caso de los sistemas socio-ecológicos, de acuerdo a Gallopín (2006); los sistemas que contienen relaciones no lineales entre sus variables (como es el caso de todos los SES) generalmente poseen más de un atractor, y por lo tanto pueden ocurrir sorpresas a medida que el estado del sistema cambia de un dominio de estabilidad a otro.

Sin embargo, las ideas y discursos sobre la estabilidad y el equilibrio se afianzan con las prácticas y rutinas burocráticas, administrativas e institucionales que vienen de larga data (Leach et al., 2010) y que Scott (1998) describe como enfoques de planificación de *alta modernidad* que se basan y se justifican por una visión limitada y restringida de un mundo manejable y controlable.

Asimismo, las cuatro dimensiones del conocimiento incompleto tampoco son políticamente simétricas, verificándose también un *cierre* hacia las narrativas basadas en el *riesgo*, que descuidan las demás dimensiones (incertidumbre, ambigüedad, ignorancia) y sus implicaciones.

Nuevamente, en este proceso entran en juego ciertas presiones políticas, procedimentales e institucionales que hacen que la *ignorancia* se reformule como *incertidumbre* o *ambigüedad*; que la *incertidumbre* se redefina y se trate como *riesgo*; o que se reduzca aún más el rango

de posibles *resultados ambiguos*, creando un conjunto que pueda definirse claramente y tratarse como riesgo (Leach et al., 2010). Los mecanismos por los cuales se dan estos procesos van desde procedimientos burocráticos y de planificación que se basan en (y por lo tanto refuerzan) una imagen de un mundo manejable y calculable, hasta técnicas particulares de modelado, razonamiento y categorización que hacen que el mundo sea legible y aparentemente manejable en términos basados en el riesgo⁹.

Por lo tanto, los procesos de *cierre* afectan la forma en que se piensa la sostenibilidad: el problema y las posibles soluciones terminan viéndose en términos de *controlar* los *shocks* para mantener una situación *estable*. Las respuestas movilizadas enfatizan esfuerzos únicamente a corto plazo, con poca atención a las presiones a más largo plazo.

Yendo al caso de la gestión de los sistemas agropecuarios, como se explica en el siguiente capítulo, las intervenciones resultantes de este proceso de *cierre* pueden ser muy problemáticas para las propiedades dinámicas del suelo. Estas pueden inclusive tener efectos negativos en los medios de vida y el bienestar de las personas.

Si bien es conveniente que se mantenga un sentido de orden y control en el corto plazo, no se puede dejar de lado o suprimir el dinamismo de las interacciones humano-naturaleza-tecnología y los múltiples marcos de estas.

Los riesgos edafológicos son tensiones de largo plazo más importantes, que, junto con los *shocks* de corto plazo, amenazan el funcionamiento de un sistema agropecuario.

Si bien los sistemas agropecuarios enfrentan simultáneamente múltiples riesgos (de producción, de mercado, institucional, personal y financiero), esta investigación solo tiene en cuenta eventos climáticos extremos de precipitación (*shock*) y en riesgos agro-edafológicos (estrés) para definir vías a la sostenibilidad a través de la gestión del conocimiento incompleto.

⁹ Por ejemplo, la confianza en la experiencia, el establecimiento de agendas y la definición de mandatos organizacionales pueden utilizarse para refrenar la ignorancia y convertirla en ambigüedad; luego, la clausura política, las estrategias de ordenación y exclusión, y procesos de subjetivación mediante el cual la personas (beneficiarios de políticas o trabajadores dentro de una organización o agencia) llegan a internalizar esta gama de resultados como el conjunto apropiado para su consideración. Para mayor detalle de este proceso remitirse a Leach *et al.* (2010, p. 79).

¿Si los métodos y prácticas se *abrieran* a abordar todas propiedades dinámicas del sistema y todas las dimensiones del conocimiento incompleto, que otras *vías alternativas* gestión surgirían para la gestión sostenible del suelo?

Esta es la pregunta que fundamentalmente busca responder este trabajo de investigación, aplicado al caso particular de la gestión del suelo en los sistemas agropecuarios localizados en el Departamento Maipú, en la provincia del Chaco.

CAPITULO 3. El sistema suelo, sus procesos y las decisiones de gestión agropecuaria

3.1 Introducción

Dado que gran parte de este trabajo de investigación se centra en la gestión sostenible de los suelos, ello requiere interactuar con otras disciplinas para conocer conceptualmente de que se trata el suelo.

Desde el punto de vista de las Ciencias Sociales, se entiende a los suelos como componentes de paisajes habitados, y como parte de una variedad de fincas con diferentes estilos de gestión (Scoones, 2015).

Desde el punto de vista de las Ciencias Naturales, el suelo es un componente biofísico que forma parte del sistema terrestre, y es en sí mismo un sistema infinitamente complejo y dinámico que cumple la función primordial de soporte de la vida en la tierra.

Este capítulo tiene por objetivo brindar una descripción de la estructura y funcionamiento de ese sistema tan complejo y vital, que tan a menudo es ignorado en la gestión de las empresas agropecuarias.

La intención aquí no es abordar estos temas con la profundidad en que se lo hace en las Ciencias del Suelo, ya que esto escaparía del alcance de la tesis, sino dar cuenta de sus aspectos más relevantes, a un nivel básico de profundidad, de manera que se puedan comprender los términos que pertenecen a otras disciplinas pero que se emplean reiteradamente en lo que sigue de este trabajo de investigación.

El capítulo comienza con la definición conceptual del suelo desde la Edafología, la descripción de sus componentes, propiedades y los principales procesos que sustentan la provisión de bienes y servicios ecosistémicos. Luego se describen en qué consisten y como se producen los procesos de degradación; y se describen los principales *drivers* o factores estresantes, que forman parte de las decisiones agropecuarias, y desencadenan los procesos de degradación.

3.2 El sistema suelo

Desde principios del S. XIX expertos de la ciencia del suelo de todo el mundo han desarrollado una vasta actividad científica para el estudio y comprensión de los suelos. Se ha generado información sobre su origen, propiedades físicas, químicas y biológica, clasificación, cartografía, uso y manejo. Sin embargo, el término “suelo” no tiene una definición única en la disciplina de la ciencia del suelo, sino que conviven distintas conceptualizaciones.

La definición científica de suelo más ampliamente adoptada proviene de la pedología y se deduce del examen del origen y proceso de formación del suelo (Hartemink, 2016). En esta vertiente se define al suelo como un cuerpo natural peculiar que se desarrolla bajo la influencia combinada de cinco agentes naturales: el clima local, los organismos vegetales y animales, la composición y estructura de las rocas madre y la topografía y edad del sitio (Dokuchaev, 1883, como es citado en Hartemink, 2016). Bajo esta concepción, el suelo es simplemente un medio para el crecimiento de las plantas.

Otras sub-disciplinas de la ciencia del suelo agregan otros elementos a la definición, por ejemplo, enfatizan la ecología del suelo, o definen a los suelos como transformadores y depósitos de materia y energía.

Otras definiciones más recientes (de las últimas dos décadas) conciben al suelo como un elemento de un sistema más amplio, el sistema terrestre. Esta concepción del suelo es frecuentemente utilizada en investigaciones que adoptan enfoques más holísticos e interdisciplinarios, para abordar temáticas globales como la sostenibilidad, el cambio climático, la degradación, la seguridad alimentaria, la pérdida de biodiversidad y temas relacionados con el medio ambiente. Este enfoque piensa a los suelos como sistemas abiertos y dinámicos, y destaca su multifuncionalidad.

Hartemink (2016) brinda una definición del suelo que integra todos los aspectos que se han ido incorporando en 200 años de evolución del concepto suelo:

"El suelo es una entidad natural viviente de cuatro dimensiones que contiene sólidos, agua (o hielo) y aire. La mayoría de los suelos están afuera y son sistemas abiertos, pero los suelos también se encuentran en lagos poco profundos y debajo del pavimento. Un suelo puede tener cualquier color, cualquier edad, sea muy superficial o profundo,

y consiste mayormente en una mezcla estructurada de arena, limo y arcilla (inorgánicos), rocas y material orgánico (vivo y muerto). El suelo tiene uno o más horizontes genéticos, es una parte intrínseca del paisaje, y cambia con el tiempo. Los suelos se distribuyen por toda la tierra principalmente de manera sistemática. Los suelos almacenan y transforman energía y materia. El suelo a menudo alberga vegetación, transporta toda la vida terrestre y produce la mayor parte de nuestros alimentos. Es un componente integral parte del mundo natural que interactúa con el clima, la litosfera y la hidrosfera. Los suelos a menudo se estudian en combinación con el uso de la tierra, el clima, la geomorfología o la hidrología de un área". (p. 117)

Por su parte, el sistema internacional de clasificación de suelos, *World Reference Base (WRB)*¹⁰, proporciona la siguiente definición (FAO, 2015):

“... un cuerpo natural continuo que tiene tres dimensiones espaciales y una temporal. Las tres características principales que gobiernan el suelo son:

- Está formado por constituyentes minerales y orgánicos e incluye fases sólidas, líquidas y gaseosas.*
- Los constituyentes están organizados en estructuras, específicas para el medio pedológico. Estas estructuras forman el aspecto morfológico de la cubierta del suelo, equivalente a la anatomía de un ser vivo. Son el resultado de la historia de la cubierta del suelo y de su dinámica y propiedades reales. El estudio de las estructuras de la cubierta del suelo facilita la percepción de las propiedades físicas, químicas y biológicas; permite comprender el pasado y el presente del suelo, y predecir su futuro.*
- El suelo está en constante evolución, dándole así al suelo su cuarta dimensión, el tiempo.” (p.3)*

De acuerdo a Ledesma (1979), para tener éxito en la aplicación de programas agropecuarios de producción, se deben conocer las propiedades del suelo y sus efectos

¹⁰ La Base Mundial de Referencia (WRB) es un sistema internacional para la clasificación de suelos. WRB se basa en la Leyenda supranacional de la FAO-Unesco (1974) y la Leyenda Revisada de la FAO (1988) del Mapa de Suelos del Mundo (FAO-Unesco, 1971-1981). WRB surge de una iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Unión Internacional de Ciencias del Suelo (IUSS).

bajo distintas alternativas de manejo. Es indispensable conocer las características de superficie y las características internas. Las características de superficie más importantes son el tipo y forma del paisaje, la vegetación natural, formas del relieve, posición del suelo en el relieve, grado y longitud de la pendiente, escurrimiento superficial, erosión, peligro de anegamiento, etc. Las características internas comprenden las propiedades físicas, químicas, y biológicas, las cuales se describen a continuación.

3.2.1 Propiedades físicas del suelo

El suelo es una mezcla de materiales sólidos, aire y agua. La proporción de componentes determinan una serie de propiedades conocidas como propiedades físicas o mecánicas del suelo. Estas propiedades son: *textura, estructura, color, consistencia, profundidad, porosidad, movimiento del agua en el suelo, características, disponibilidad y movimiento del agua en el suelo (permeabilidad y drenaje)*. El *Portal de Suelos*¹¹ de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2023b), describe a estas propiedades físicas de la siguiente manera:

a) *Textura*

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye en la fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. El triángulo de textura de suelos según la FAO se usa como una herramienta para clasificar la textura. Partículas del suelo que superan tamaño de 2.0mm se definen como piedra y grava y también se incluyen en la clase de textura. Por ejemplo, un suelo arenoso con 20% de grava se clasifica como franco arenoso con presencia de gravas. Cuando predominan componentes orgánicos se forman suelos orgánicos en vez de minerales.

b) *Estructura del Suelo*

Las partículas de arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y unidades de mayor tamaño denominados *peds*. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento de las raíces y la

¹¹ <https://www.fao.org/soils-portal>

resistencia a la erosión. El agua es el componente que afecta más fuertemente a la estructura del suelo debido a su solución y precipitación de minerales, y sus efectos en el crecimiento de las plantas.

c) Profundidad

La profundidad efectiva del suelo hace referencia a la espesura del suelo, y está dada por la profundidad y espesor de horizontes. La definición original del *solum* se denominaba como la capa superficial del suelo (horizonte A) junto con el subsuelo (horizontes E y B). El horizonte C se definía como estratos con poca formación edafogénica (el que más se parece a la roca madre). Sin embargo, la presencia de raíces y la actividad biológica que frecuenta a menudo en horizonte C realza la importancia de incluir este horizonte en la definición de profundidad del suelo.

El horizonte A, más próximo a la superficie, suele ser más rico en materia orgánica, mientras que el horizonte C contiene más minerales. Cuando el suelo es maduro suele contener un horizonte B, donde se almacenan minerales lixiviados. El horizonte E está formado por material de baja fertilidad. En la práctica, los estudios con levantamiento de suelos utilizan límites de profundidad arbitrarios de 200 cm.

d) Color

El color del suelo depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta de ciertas propiedades del suelo. Además, se utiliza para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de materia parental, la presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato.

e) Consistencia

La consistencia es la propiedad que define la resistencia del suelo a la deformación o ruptura que pueden aplicar sobre él. Según su contenido de humedad la consistencia del suelo puede ser dura, muy dura o suave. Se mide mediante tres niveles de humedad: aire-seco, húmedo y mojado.

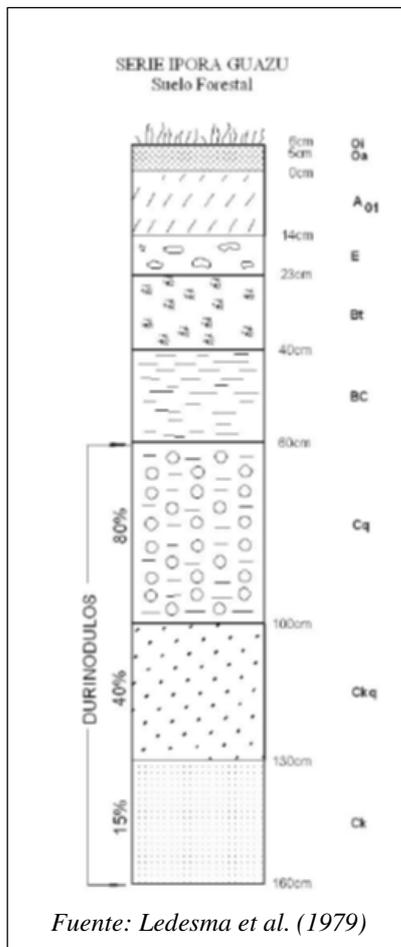


Figura 3.1 Horizontes del suelo

La Figura 3.1 muestra un perfil de suelo de la Serie *Iporá Guazú* del Departamento Maipú, y su secuencia de horizontes. Se trata de un suelo forestal, con el horizonte superficial que consta de un subhorizonte A1 medianamente provisto de materia orgánica y un E de color claro, producto de un intenso lavado; un subsuelo bien desarrollado y material originario con importantes concentraciones de durinódulos, lo que significa que esta serie tiene un drenaje interno del agua deficiente (Ledesma et al., 1979, p. 3).

f) Porosidad

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas.

g) Densidad

Se refiere al peso por volumen del suelo. Mediante la determinación de la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos

constituyendo el suelo y en general está alrededor de 2,65. Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o de tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja indica un ambiente no favorable para el crecimiento de las plantas.

h) Disponibilidad y movimiento del agua en el suelo

El agua almacenada o fluyente en el suelo afecta la formación del suelo, su estructura, estabilidad y erosión. El agua almacenada es el factor principal para satisfacer la demanda hídrica de las plantas. Se denomina *capacidad de campo* a la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener luego de ser saturado y drenado libremente, evitando evapotranspiración, y hasta que el potencial hídrico se estabiliza (tras 24 a 48 horas de la lluvia o riego).

De acuerdo a Artieda (2008), el agua interactúa con el suelo e interviene de manera decisiva en los procesos biogeoquímicos del suelo, suministrando materiales solubles, o en suspensión, que pueden ser arrastrados por el agua. Así mismo, el agua es vehículo de entrada de materiales al interior del suelo, a través del proceso de infiltración, participando en el transporte y en la acumulación de materiales de origen natural o antrópico (Artieda, 2008). La entrada de agua en el suelo se produce a través del proceso de infiltración, la cual depende de la existencia de suficientes poros en la superficie del suelo y de la existencia de material suelo (o materiales parentales, si son poco profundos) permeable que garantice el movimiento vertical del agua una vez en el interior del suelo.

Por otro lado, los poros de la superficie del suelo pueden obstruirse con partículas desprendidas de los agregados de suelo bajo el impacto de las gotas de lluvia o por el depósito de esas partículas sobre la superficie del suelo, formando un encostramiento o un sellado impermeable. Artieda (2008) argumenta: "el encostramiento superficial disminuye la tasa de infiltración, reduce el agua útil en la zona de raíces, disminuye la recarga natural de los acuíferos, provoca un aumento de la escorrentía y erosión del suelo, y afecta a la nacencia y crecimiento normal de las plantas" (p. 21).

Otro aspecto importante es la conductividad hidráulica del suelo, es decir, la capacidad del suelo de dejarse atravesar por el agua. La conductividad hidráulica está determinada principalmente por el tamaño de los macroporos de los horizontes.

Cuando la velocidad del agua caída sobre la superficie del suelo supera la velocidad de infiltración, aparece la escorrentía. De acuerdo a Artieda (2008), el balance entre agua

infiltrada y agua de escorrentía es un parámetro esencial del *ciclo hidrológico*. De manera resumida, el ciclo hidrológico es un sistema donde el agua circula desde los océanos, ríos y lagos hacia la atmósfera, para caer luego a la superficie terrestre a través de las precipitaciones y volver a comenzar (Formaggio, 2021). La relación infiltración/escorrentía determina, en gran parte, la cantidad de agua de lluvia que pasa a formar parte de las aguas superficiales (ríos, lagos), la que regresa a la atmósfera a través de la evapotranspiración, y la que recarga los freáticos. Por lo tanto, ambos elementos, suelo y agua, son considerados de manera única a la hora de abordar su conservación.

3.2.2 Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo que se describen en el *portal de suelos* de la FAO (2023c) son:

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La CIC es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH₄ etc.). Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrogeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces. El nivel de CIC indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica.

El pH del Suelo

El pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de adsorción de iones (H⁺) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo. El valor del pH en el suelo oscila entre 3,5 (muy ácido) a 9,5 (muy alcalino). Los suelos muy ácidos (<5,5) tienden presentar cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso. Los suelos muy alcalinos (>8,5) tienden a dispersarse. La actividad de los organismos del suelo es inhibida en suelos muy ácidos y para los cultivos agrícolas el valor del pH ideal se encuentra en 6,5.

Porcentaje de Saturación de Bases

La saturación de bases se relaciona con el pH del suelo, y es un parámetro que se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerida en un suelo ácido para neutralizarlo.

Nutrientes para las Plantas

La cantidad de nutrientes presente en el suelo determina su potencial para alimentar organismos vivos. Los 16 nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas se suelen clasificar entre macro y micro nutrientes dependiendo de su requerimiento para el desarrollo de las plantas. Los macronutrientes se requieren en grandes cantidades e incluyen Carbono (C), Hidrógeno (H), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S). Los micronutrientes por otro lado se requieren en pequeñas, su insuficiencia puede dar lugar a carencia y su exceso a toxicidad, se refieren a Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl).

Carbono Orgánico del Suelo

La vegetación fija el carbono de la atmósfera por fotosíntesis transportándolo a materia viva y muerta de las plantas. Los organismos del suelo descomponen esta materia transformándola a Materia Orgánica del Suelo (MOS). El carbono se libera de la biomasa para la MOS, en organismos vivos por un cierto tiempo o se vuelve a emitir para la atmósfera por respiración de los organismos (organismos del suelo y raíces) en forma de dióxido de carbono, CO₂, o metano CH₄, en condiciones de encharcamiento en el suelo. La MOS se encuentra en diferentes grados de descomposición y se distingue en distintas fracciones como lábiles (compuestas de hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos) o fracciones húmicas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas). Las fracciones lábiles resultan más rápidas en digerir para los microorganismos resultando en respiración de carbono y plazo de permanencia más corto en el suelo. Las fracciones húmicas se encapsulan en los agregados del suelo y son más difíciles para acceder. Además, su composición es más estable con químicos más complejos de descomponer y permanecen por periodos muy largos en el suelo. El Carbono Orgánico del Suelo (COS) mejora las propiedades físicas del suelo, aumenta la *capacidad de intercambio catiónico*, la retención de humedad y contribuye con estabilidad de suelos arcillosos al ayudar a aglutinar las partículas para formar agregados. La MOS está compuesta en mayoría de carbono, tiene una capacidad de retener una gran proporción de

nutrientes, cationes y oligoelementos esenciales para el crecimiento de las plantas. Gracias a la MOS la lixiviación de nutrientes se inhibe y es integral a los ácidos orgánicos que disponibilizan los minerales para las plantas y regulador del pH del suelo. Se reconoce globalmente que el tenor de carbono orgánico en el suelo sea un factor fundamental para la salud del suelo, forma parte fundamental del Ciclo de Carbono y tiene gran importancia en la mitigación a los efectos del cambio climático.

Nitrógeno del Suelo

El nitrógeno del suelo es uno de los elementos de mayor importancia para la nutrición de las plantas y más ampliamente distribuido en la naturaleza. Se asimila por las plantas en forma catiónica de amonio NH_4^+ o aniónica de nitrato NO_3^- . A pesar de su amplia distribución en la naturaleza se encuentra en forma inorgánica por lo que no se pueden asimilar directamente. Además existen las formas gaseosas del N pero son muy pequeñas y difíciles de detectar como óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2), amoníaco (NH_3) y nitrógeno molecular presente en la atmósfera del suelo (N_2).

3.2.3 Propiedades biológicas del suelo

El *portal de suelos* de la FAO (2023a) destaca dos procesos que involucran propiedades biológicas del suelo: el *ciclo del nitrógeno* y el *ciclo del carbono*.

El Ciclo del Nitrógeno

El Ciclo del nitrógeno del suelo se relaciona con la actividad microbiana y fauna del suelo como las lombrices, nematodos, protozoarios, hongos, bacterias y artrópodos. Los organismos del suelo descomponen la materia orgánica proveniente de restos vegetales y animales liberando a su vez nutrientes para ser asimilados por las plantas. Los nutrientes que se encuentran almacenados dentro de los organismos del suelo impiden su pérdida por lixiviación. Los microorganismos del suelo mantienen la estructura mientras las lombrices remueven el suelo. Las bacterias juegan un papel crucial para el Ciclo del Nitrógeno mediante los procesos de *mineralización* del nitrógeno en el suelo, la *nitrificación*, la *fijación de nitrógeno* y la *desnitrificación* (FAO, 2023a).

La *mineralización* del nitrógeno en el suelo es un proceso en el que las formas puras de nitrógeno se transforman en amonio (NH_4^+) con la ayuda de descomponedores o bacterias.

Cuándo una planta o animal muere, o un animal desecha el nitrógeno se encuentra en forma inorgánica. Las bacterias, o en algunos casos los hongos, transforman el nitrógeno orgánico en los restos de vuelta a amonio (NH_4^+), que puede ser absorbido por las raíces de las plantas. En la segunda etapa el amonio se oxida y se forma nitrito NO_2 , y en una tercera etapa mediante oxidación se forma nitrato, NO_3 (FAO, 2023a).

La *fijación de nitrógeno* ocurre cuando las bacterias o las algas en el suelo son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico incorporándolo a su organismo y depositado al suelo una vez muertos. El hábitat de las bacterias se encuentra alrededor de las raíces leguminosas formando nódulos en las células corticales habitadas por las bacterias. Las bacterias *Azobacter* y *clostridium* se nombran como las fijadoras de nitrógeno en manera no simbiótica. Las bacterias que llevan a cabo fijación simbiótica incluye *Rhizobia* (FAO, 2023a).

Finalmente, la *desnitrificación* devuelve el nitrógeno a la atmósfera. Las bacterias anaeróbicas *Achromobacter* and *Pseudomonas* llevan al proceso la conversión de nitratos y nitritos como óxido de nitrógeno N_2O o N molecular N_2 . En exceso, el proceso tiende a conducir a pérdidas totales de nitrógeno disponible en el suelo y en consecuencia su fertilidad.

El ciclo de carbono

El ciclo de carbono es el proceso mediante el cual el elemento de carbono se intercambia entre la biosfera, pedosfera, geosfera, hidrosfera y atmósfera de la Tierra. Se lo distingue como el proceso más importante del planeta, al reciclar y reutilizar el elemento más abundante del planeta, el carbono C. Los flujos anuales del carbono y sus intercambios entre las distintas reservas ocurren debido a los procesos químicos, físicos, geológicos y biológicos.

El suelo es una importante reserva de C, conteniendo más carbono que la atmósfera y la vegetación terrestre en conjunto (FAO, 2017). El carbono orgánico del suelo (COS) es importante por sus contribuciones a la producción de alimentos, la mitigación y adaptación al cambio climático, y al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible; por lo tanto, es el indicador más importante de la salud del suelo (FAO, 2017).

El COS se halla en la materia orgánica del suelo (MOS), es decir, en los constituyentes orgánicos en el suelo en diversas etapas de descomposición, tales como tejidos de plantas y animales muertos, materiales de menos de 2 mm de tamaño y organismos del suelo. La renovación de MOS desempeña un papel crucial en el funcionamiento del ecosistema del suelo y el calentamiento global. La materia orgánica es incorporada al suelo por la fauna que habita el mismo; el carbono entra en el suelo a través de la transformación del material orgánico por microorganismos heterótrofos.

Una gran parte de la materia orgánica originada por la descomposición anual de los residuos vegetales se acumula en la superficie del suelo o en la zona radicular y se consume casi por completo por los organismos del suelo creando así una reserva de carbono con una rápida tasa de renovación, en muchos casos, de entre uno a tres años. A su vez, los subproductos de este consumo microbiano resultan en emisiones de dióxido de carbono, CO₂, y agua, H₂O, y una variedad de compuestos orgánicos designados como *humus*. El humus está compuesto por sustancias difíciles de degradar y por ello resulta lenta su descomposición. Al ser formado en horizontes superficiales del suelo generalmente una parte se precipita hacia perfiles inferiores como complejos arcillo-húmicos. En los perfiles más profundos del suelo el tenor de oxígeno suele ser menor por lo que dificulta la descomposición del humus por los organismos. Pero con el tiempo, debido a varios procesos naturales que remueven el suelo el humus se vuelve a aportar hacia horizontes superiores donde se podrá descomponer y liberar más CO₂. Es por ello que el humus constituye una reserva más estable para el carbono del suelo con duración de centenas a miles de años. En la mayoría de los suelos, la descomposición del humus rápida y lenta lleva a un tiempo de residencia de alrededor de 20 a 30 años. A través de la mineralización acelerada del COS, los suelos pueden ser una fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. La pérdida de carbono también puede ser causada por exudados radiculares como el ácido oxálico, que liberan compuestos orgánicos de las protectoras asociaciones con minerales (Keiluweit et al., 2015, como se cita en FAO, 2017). Finalmente, el carbono también es parcialmente exportado de los suelos a ríos y océanos como carbono orgánico disuelto (COD) o como parte del material de erosión (FAO, 2017)

Los impactos antropogénicos sobre el suelo pueden convertirlo en un sumidero o en fuente neta de GEI. Los niveles de almacenamiento de COS se controlan principalmente

gestionando la cantidad y el tipo de residuos orgánicos que entran en el suelo (es decir, el aporte de C orgánico al sistema del suelo) y minimizando las pérdidas de C del suelo a través gases de respiración basados en C, procedentes de la mineralización microbiana y, en menor medida, de la lixiviación del suelo como COD.

Los gases de efecto invernadero a base de carbono emitidos por el suelo son el CO₂, el metano CH₄, y el óxido nitroso N₂O, cuya emisión se ha vuelto cada vez más antropogénica, en gran parte desde suelos agrícolas e instalaciones ganaderas (FAO, 2017).

La FAO destaca la importancia de la biodiversidad del suelo (incluidos organismos como bacterias, hongos, protozoos, insectos, gusanos, otros invertebrados y mamíferos) para asegurar el buen funcionamiento del ecosistema; cada organismo, independientemente de su tamaño tiene un papel que desempeñar. Las comunidades complejas de organismos del suelo i) determinan la magnitud y la dirección de los flujos de C entre la atmósfera y el suelo, ya sea contribuyendo al secuestro de carbono en el suelo o reduciendo las emisiones de GEI; ii) influyen en el ciclo del COS y principalmente en la disponibilidad de nutrientes; iii) mejoran la estructura física del suelo promoviendo la agregación; y iv) promueven el control biológico de plagas y la polinización de cultivos (FAO, 2017).

3.6 Los cambios en el suelo

Los cambios y perturbaciones del suelo hacen referencia a cambios abruptos o graduales que alteran los procesos, propiedades y el funcionamiento del sistema suelo. Estas pueden ser naturales o antropogénicas. A diferencia de las perturbaciones antropogénicas, las perturbaciones naturales no se pueden prevenir. De acuerdo a Blanco y Lal (2010) las perturbaciones son parte del ecosistema del suelo, ocurren todo el tiempo, y a menudo son necesarias para realizar operaciones de gestión esenciales para producir los bienes y servicios ecosistémicos. Por su parte, Tugel et al. (2005) afirman que las perturbaciones del suelo son un componente integral de los sistemas naturales, al promover la diversidad y los procesos de renovación. Algunos ejemplos de fenómenos naturales y acciones humanas incluyen sequías, incendios, inundaciones, vendavales, cultivo, fertilización, irrigación, extinción de incendios, pastoreo y control de malezas. No obstante, las alteraciones indiscriminadas llevan a la *degradación* del suelo, produciendo cambios importantes en las condiciones físicas, hidrológicas, procesos químicos y biológicos que afectan las funciones del suelo. La

agricultura es una de las mayores actividades antropogénicas que provocan la degradación del suelo; las labranzas intensivas y el monocultivo crean tensiones en el sistema, provocando cambios rápidos e irreversibles. Sin embargo, la actividad agropecuaria no es la única actividad antropogénica que altera el funcionamiento del suelo, también la expansión urbana es un factor contemporáneo creciente. El uso histórico y actual de la tierra cambian los ecosistemas.

Tugel et al. (2005) definen el *cambio* del suelo como la variación temporal de las propiedades del suelo en un lugar específico, asumiendo que la variación temporal puede determinarse para una variedad de escalas de tiempo, que van desde centuriales y decadales hasta variaciones anuales, estacionales, diarias e inclusive de horas. Tugel y colegas denominan *propiedades dinámicas del suelo* para aquellas propiedades que cambian en la escala de tiempo humana. Dentro de este concepto se encuentran, por ejemplo, el carbono orgánico del suelo, el contenido de agua en el suelo, la densidad aparente, pH, salinidad y estabilidad de los agregados. Estas propiedades varían tanto en el espacio como en el tiempo, y generalmente tienen una mayor variabilidad espacial que las propiedades más estables, como la textura y la mineralogía del suelo.

3.7 La degradación del suelo

La degradación es un proceso degenerativo que reduce la capacidad actual o futura de los suelos para seguir desempeñando sus funciones y brindar los bienes y servicios ecosistémicos. Esto puede suceder tanto por causas naturales (por ejemplo, fuertes lluvias y vientos) como por causas antrópicas (deforestación, gestión duradera de prácticas extractivas, pastoreo excesivo, entre otras).

Siguiendo a Blanco y Lal (2010), en general se distinguen dos tipos de procesos de degradación del suelo:

- Aquéllos que producen el desplazamiento de las partículas del suelo. Los más importantes son la erosión por agua (*erosión hídrica*) y viento (*erosión eólica*).
- Fenómenos que originan una degradación *in situ* del suelo. Pueden ser procesos de degradación física (compactación, deterioro de la estructura) o química (acidificación, salinización, pérdida de materia orgánica, contaminación), o de los

procesos biológicos (reducción de la biodiversidad del suelo y denudación de la cubierta vegetal).

Estos procesos rara vez ocurren de forma individual sino en interacción entre sí. Algunas tierras o unidades de paisaje se ven afectadas por más de un proceso, de erosión hídrica y eólica, salinización y formación de costras o compactación (Eswaran et al., 2001).

La mala gestión duradera y perpetua de prácticas extractivas, así como el cambio climático pueden desencadenar procesos de desertificación. La *desertificación* se define como la extensión irreversible de los accidentes geográficos y paisajes desérticos a áreas donde no ocurrieron en un pasado reciente (Lal, 2012). La mala gestión perpetua puede reemplazar la vegetación clímax en un bioma específico debido a la degradación del suelo. Por lo tanto, hay una gran necesidad de una gestión prudente del suelo, la vegetación, el agua y de los recursos naturales.

A continuación, se describen los procesos de degradación observados más frecuentemente en los agroecosistemas que se abordarán en los capítulos siguientes.

3.7.1 Erosión

Blanco y Lal (2010) subrayan que hay dos tipos de erosión: *erosión acelerada* y *erosión geológica*. La *erosión geológica* es un proceso normal de meteorización, que ocurre a tasas bajas, y en tiempos geológicos, en todos los suelos como parte de los procesos naturales de formación del suelo. La *erosión acelerada* se desencadena por causas antropogénicas y se convierte en una preocupación importante cuando la tasa de erosión supera un cierto nivel de umbral (Lal, 2012).

Dentro de estos procesos, la *erosión hídrica* y la *erosión eólica* son los principales factores de degradación del suelo.

La *erosión hídrica* se produce por el impacto de las gotas de lluvia y por la escorrentía (el agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno), que provocan el desprendimiento y transporte del suelo.

La precipitación, la cobertura vegetal de la superficie, la topografía y las propiedades del suelo interactúan para determinar la magnitud y la tasa de erosión hídrica. Por ejemplo, cuanto más larga y empinada sea la pendiente, más erosionable será el suelo y mayor será la

capacidad de transporte de la escorrentía bajo una lluvia intensa; la cubierta vegetal superficial mejora la resistencia del suelo a la erosión al estabilizar la estructura del suelo, aumentar la materia orgánica del suelo y promover la actividad de los macro y microorganismos del suelo (Blanco & Lal, 2010).

La *erosión eólica* se produce por la fuerza del viento que se lleva las partículas de suelo sueltas y desprendidas de las tierras planas y desprotegidas. A diferencia del agua, el viento tiene la capacidad de mover las partículas del suelo cuesta arriba y cuesta abajo, y puede contaminar tanto el aire como el agua; además, la erosión eólica no solo altera las propiedades y los procesos del suelo erosionado, sino que también afecta negativamente a los suelos y paisajes vecinos donde puede ocurrir la deposición.

Blanco y Lal (2010) afirman que otra vía importante de redistribución del suelo, que a menudo se pasa por alto, es la erosión de la labranza causada por el arado, que mueve gradualmente el suelo con efectos adversos en el sitio sobre la producción de cultivos.

Los autores argumentan que la erosión acelerada del suelo provoca efectos agronómicos, ecológicos, ambientales y económicos adversos tanto dentro como fuera del sitio. No solo afecta los lotes agrícolas, sino también la calidad de los bosques, pastos y pastizales. Sin embargo, argumentan, los suelos agrícolas son más susceptibles a la erosión porque estos suelos suelen quedar desnudos o con poca cobertura entre la cosecha y la siembra de un nuevo cultivo, e inclusive, mientras están implantados los cultivos en hileras, los suelos son susceptibles a la erosión.

Efectos de la erosión en el sitio

El principal efecto de la erosión dentro del sitio es la reducción del espesor de la capa superior del suelo (la más fértil), produciendo la degradación de la estructura del suelo, compactación, el agotamiento de los nutrientes, la pérdida de MOS, lo que a su vez produce una mala emergencia de las plántulas y la reducción de los rendimientos de los cultivos. No solo disminuye la productividad y la capacidad funcional para producir cultivos, sino también la de filtrar contaminantes y almacenar carbono y nutrientes.

Eswaran et al. (2001) advierten que los impactos en el sitio de la degradación de la tierra sobre la productividad se enmascaran fácilmente debido al uso de insumos adicionales y la adopción de tecnología mejorada y llevan a algunos a cuestionar los efectos negativos efectos

de la erosión. Afirman que el efecto de enmascaramiento de la tecnología mejorada proporciona una falsa sensación de seguridad.

Sin embargo, desde el punto de vista económico, el control y la gestión de la erosión del suelo son importantes porque cuando la capa superior del suelo fértil se erosiona, el suelo restante es menos productivo con el mismo nivel de insumos. Si bien la erosión del suelo no puede reducirse por completo, la erosión excesiva debe reducirse a un nivel manejable o tolerable para minimizar los efectos adversos sobre la productividad.

Efectos fuera del sitio

Las consecuencias que se producen fuera del sitio se deben principalmente a los sedimentos y productos químicos transportados desde la fuente hacia las aguas naturales por los arroyos y los sitios de depósito por el viento. Tanto la erosión hídrica como eólica eliminan principalmente las capas del suelo donde se concentran la mayoría de los productos químicos agrícolas. Siguiendo a Blanco y Lal (2010), el sedimento transportado fuera del sitio altera las características del paisaje, reduce el hábitat de la vida silvestre y causa pérdidas económicas. La erosión también reduce la producción ganadera, al reducir la producción de forraje, y así, el peso de los animales. Además, como señala Artieda (2008), la acumulación de material sólido en embalses, procedentes de áreas con pérdidas importantes de suelo, provoca la reducción del volumen útil de éstos con elevados costos económicos. Por otra parte, las partículas suspendidas en el aire se transportan y se depositan a cientos o incluso miles de kilómetros de la fuente; alteran la radiación atmosférica, reducen la visibilidad, y causan contaminación (Blanco & Lal, 2010).

3.7.2 Degradación física

En la agricultura mecanizada la *compactación* del suelo es uno de los procesos degradativos más severos (Blanco y Lal, 2010). La *compactación* se refiere al proceso de densificación del suelo causado por el empaquetamiento compacto de las partículas del suelo, debido al empleo de maquinarias pesadas bajo una agricultura altamente mecanizada, y al tránsito de animales, que crean un material de suelo denso con una porosidad total y macro reducida.

Los suelos compactados se caracterizan por una alta *densidad aparente*, *resistencia a la penetración* y *resistencia al corte*. Estas propiedades físicas adversas del suelo restringen el crecimiento de las raíces, limitan la emergencia de las plantas y reducen el rendimiento de

los cultivos. Los altos niveles de compactación del suelo también reducen la tasa de infiltración de agua, aumentan la tasa de escorrentía y la erosión del suelo, y aumentan los riesgos de contaminación del agua.

El tránsito repetido de ruedas durante las labores culturales degrada la estructura del suelo de la superficie, sino también la del subsuelo. La compactación del subsuelo, conocido como *piso de arado*, ocurre cuando se forma un horizonte sub-superficial compactado de mayor *densidad aparente* y menor *porosidad total* que la capa superficial del suelo.

La mayor preocupación con la labranza surge cuando se vuelve intensiva y continua, lo que altera drásticamente las funciones del suelo y causa la erosión del suelo.

3.7.3 Degradación biológica

El suelo es uno de los ambientes más diversos y contiene una de las colecciones más variadas de organismos vivos, incluyendo microorganismos como bacterias y hongos, y macroorganismos como por ejemplo lombrices, orugas y larvas de artrópodos, ácaros, hormigas, arañas, etc. (Zaccagnini et al., 2014). Los organismos de la tierra aportan servicios esenciales para el funcionamiento sostenible del ecosistema, entre ellos, construcción y aireación de elementos estructurales del suelo, ciclado de nutrientes, facilitación de flujos de energía, descomposición de materia orgánica, predación y regulación de poblaciones, entre otros. Esto se traducen en una mejor estructuración del suelo; facilitación de la absorción de nutrientes por parte de las plantas; regulación de especies problemáticas para las raíces y coronas de las plantas; supresión de enfermedades; control biológico de insectos y plagas; detoxificación de los agroquímicos, entre otros servicios a la agricultura (Zaccagnini et al., 2014).

Por otra parte, la *materia orgánica* (organismos de origen animal y vegetal, parcial y/o totalmente descompuestos o transformados) mejora la estructura de los poros del suelo, aumenta la infiltración de agua y reduce la compactación del suelo, la escorrentía y la erosión del suelo. Las mejoras en la microporosidad y la estructura de los poros son esenciales para las propiedades de retención y transmisión de agua del suelo. Grandes cantidades de materia orgánica del suelo actúan como una esponja, disminuyendo la compresibilidad del suelo pero mejorando la resiliencia al liberarse de las tensiones (Blanco & Lal, 2010).

La degradación biológica del suelo implica la pérdida de biodiversidad y la disminución de la materia orgánica del suelo, con sus repercusiones en las diferentes funciones del suelo (Piscitelli, 2015). Piscitelli (2015) afirma que está ampliamente demostrado que el uso intensivo del suelo y la aplicación de tecnología inadecuada son las principales causas de la ocurrencia de los procesos de degradación biológica en suelos agrícolas.

3.7.4 Degradación química

Siguiendo a Piscitelli (2015), varios de los procesos de degradación química están vinculados a la degradación biológica y suelen ocurrir ante condiciones extremas de la ocurrencia de esta. Por ejemplo, como consecuencia del agotamiento de la materia orgánica pueden desencadenarse el *agotamiento de nutrientes* y la *acidificación* del suelo. Otras formas de degradación química consisten en la *salinización*, la *sodización* y la *contaminación* con agroquímicos.

Los suelos fuertemente ácidos a menudo tienen una estructura degradada y una absorción de nutrientes y un rendimiento de cultivo deficientes. De acuerdo a Blanco y Lal (2010), el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, las altas tasas de lixiviación de nitrógeno y la lluvia ácida son las principales causas de la *acidificación* del suelo.

La *salinización* es un proceso de degradación química que implica la acumulación de sales solubles en agua del suelo. Las sales que se pueden encontrar en un nivel freático salino se transportan con el agua a la superficie del suelo mediante ascenso capilar y una vez que el agua se evapora acumularse en la superficie del suelo (Blanco & Lal, 2010). La salinización suele ocurrir con manejo de riego inapropiado sin tomar en consideración el drenaje y lixiviación de las sales por fuera de los suelos. Sin embargo, el problema de salinidad en el suelo, no sólo se limita a regiones de riego, sino que puede presentarse en cualquier suelo con drenaje insuficiente (Ledesma et al., 1979). La salinización elevada en el suelo lleva a la degradación de los suelos y la vegetación.

Por otro lado, la *alcalinización* o *sodicidad* del suelo, se define como el exceso de sodio intercambiable en el suelo. Los suelos sódicos son frecuentes en regiones áridas y semiáridas y muchas veces son inestables con propiedades físicas y químicas muy pobres. Suelen ser suelos impermeables, con poca infiltración, percolación, donde se dificulta el crecimiento de las plantas.

La degradación química también es causada por la acumulación de algunos químicos tóxicos, y un desequilibrio elemental que es perjudicial para el crecimiento de las plantas (Lal & Stewart, 1990). La contaminación del suelo esta generalmente asociada a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, por el uso y manejo inadecuado de agroquímicos y desechos de la agricultura (Piscitelli, 2015). Los fertilizantes sintéticos y los agroquímicos son solubles y se transportan rápidamente en la escorrentía y por la filtración a las aguas superficiales y subterráneas. Los sistemas agrícolas convencionales, basados en una gran cantidad de productos químicos, han provocado la contaminación de arroyos, ríos y lagos (Blanco & Lal, 2010).

CAPITULO 4: El Método Delphi Fundamentado para establecer vías sostenibles de uso del suelo

4.1 Introducción

El Departamento Maipú es un paisaje complejo y diverso, donde coexisten múltiples realidades productivas. En este capítulo se presenta una descripción detallada del Departamento, y se presenta la metodología general utilizada para abordar el problema de la dinámica y sostenibilidad del uso del suelo.

En el apartado 4.2 se describe el área geográfica de producción haciendo un recorrido por diversos aspectos como las características ambientales, la dinámica del uso del suelo, las características de los suelos del Departamento, y su estructura productiva.

En el apartado 4.3 se presenta la metodología que se utilizó, en una primera etapa, para realizar un estudio exploratorio de la diversidad y tipos de sistemas productivos, para clasificarlos y agruparlos.

Esta clasificación permitió definir un esquema de organización conceptual de la diversidad y complejidad de los sistemas productivos. La tipificación de los sistemas sirvió también para otros dos fines metodológicos. Por un lado, permitió acotar la población objetivo solo aquellos tipos de sistemas agropecuarios donde la intensificación agropecuaria se presenta problemática para la sustentabilidad del uso del suelo; y, por otro lado, permitió tener un marco de referencia de las actuales prácticas de manejo del suelo. Esta referencia sirvió para diseñar el cuestionario empleado en la segunda etapa de la investigación, donde se obtuvo la información calificada sobre uso sostenible del suelo. En efecto, en el apartado 4.3 se expone la metodología utilizada para definir normativamente la sostenibilidad del uso del suelo en el área geográfica de estudio.

4.2 Descripción del área de estudio

4.2.1 Características ambientales

El Departamento Maipú pertenece a la región del Chaco central o de transición entre el Chaco oriental húmedo y el occidental seco. Es la región de los parques y sabanas secas, con áreas

de pastizales no inundables denominados pampas o abras. Predominan los árboles de madera dura, ricos en tanino y adaptados a una estación seca como los algarrobos, quebrachos, garabatos, guayacán (Guarino, 2009).

Tiene un clima subtropical continental seco, con precipitaciones superiores en verano; temperatura media anual de 22°C, media del mes de julio de 15°C, media del mes de enero de 27°C; lluvia media anual 945 mm; déficit hídrico medio anual de -150 mm; período libre de heladas entre 280 a 300 días. Los veranos son muy calurosos y más húmedos que los inviernos, pero los fuertes vientos y la mayor cantidad de horas del sol brillante, contribuyen a elevar el grado de evaporación, disminuyendo la eficacia de las precipitaciones.

Es una zona agrícola-ganadera y forestal. Entre los cultivos se destacan el cultivo de soja, maíz, girasol, algodón y en menor medida, trigo y sorgo. La ganadería constituye la actividad de mayor importancia con la cría de ganados bovino y caprino fundamentalmente, junto a la explotación forestal. Y son estas acciones antrópicas los factores que modifican el paisaje natural, cambios que también influyen en el proceso vital y cultural de las poblaciones nativas.

De acuerdo a Ledesma (1979), el relieve puede describirse como una sucesión de lomas disectadas por antiguos cauces de ríos, llamados caños, con vegetación principal de bosque, con pampas al centro y áreas anegables al Noreste. La mayoría de los caños y pampas están bajo cultivo. Los suelos anegables, de relieve subnormal, aptos para ganadería, en muchos sectores son utilizados erróneamente para agricultura, con rendimientos de subsistencia.

4.2.2 Dinámica del uso del suelo

El poblamiento de la porción oriente, centro y suroeste de la provincia del Chaco tuvo lugar entre finales de S. XIX y las primeras décadas del S. XX. Este proceso se vio favorecido por el desarrollo de la actividad forestal y la industria taninera en un principio, y por la expansión del cultivo de algodón años más tarde; el tendido ferroviario y la promoción de la inmigración por parte del gobierno nacional fueron otros factores determinantes. Las tierras asignadas a los inmigrantes se fragmentaron, principalmente, en lotes de 100 ha, donde cada familia rápidamente eliminó el monte de manera total o parcial, para darle a los suelos uso agrícola de acuerdo a sus necesidades (Cuadra, 2019).

A fines de la década de 1970, en el Departamento Maipú ya se encontraban deforestadas las tierras potencialmente agrícolas de las colonias que rodean a Tres Isletas, ciudad cabecera del departamento (Colonia Pampa Vargas, Pampa del Doce, Vélez Sarsfield, Pampa del Gallo, Tres Naciones, Pampa Grande, Pampa Alelai, Cabá Ñaró, La Matanza, Pampa Algarrobo). Entre los años noventa y 2010 continuo la deforestación de manera más fraccionada (desmontes discontinuos, parches o perforaciones). Hoy en día, el avance sobre los bosques nativos continúa en las parcelas ubicadas al Oeste y Noroeste del Departamento. De esta forma se cambia el uso de los suelos, que pasan de tierras forestales a agrícolas principalmente, y, en menor medida, a mixtas o silvopastoriles.

Hoy en día, los desmontes, cambios en el uso del suelo y el aprovechamiento de recursos forestales están regulados por la Ley Nacional N° 26.331 “Ley De Presupuestos Mínimos De Protección Ambiental De Los Bosques Nativos” y por la Ley Provincial N° N° 1762 R (ex Ley 6.409/2009) de Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos (OTBN). El Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos (OTBN) es el proceso mediante el cual se define el valor de conservación de los bosques, estableciendo las actividades que pueden realizarse en ellos, teniendo en cuenta criterios de producción y conservación. En cumplimiento de estas normativas, y siguiendo proceso participativo, los posibles usos de las tierras con bosques fueron clasificados en tres categorías¹²:

Categoría I (rojo): sectores de muy alto valor de conservación que no deben desmontarse ni utilizarse para la extracción de madera y que deben mantenerse como bosque para siempre. Incluye las reservas naturales y sus áreas circundantes, que tengan valores biológicos sobresalientes, y/o sitios que protegen cuencas hídricas de importancia (nacientes de ríos y arroyos).

Categoría II (amarillo): sectores de alto o medio valor de conservación, que pueden estar degradados pero que, si se los restaura, pueden tener un valor alto de conservación. Estas áreas no pueden desmontarse, pero pueden ser sometidos a los siguientes usos: *aprovechamiento sostenible*, turismo, recolección e investigación científica.

¹² En el Anexo I se brindan detalles sobre las normas que regulan el uso y conservación de los bosques nativos en la Provincia del Chaco.

Categoría III (verde): sectores de bajo valor de conservación que pueden transformarse parcialmente o en su totalidad, con la previa realización de una evaluación de impacto ambiental.

El Departamento Maipú se encuentra en su totalidad dentro de una “zona verde”, lo cual habilita la posibilidad de desmontes con fines agropecuarios y/o forestales, previa aprobación de los *planes de manejo sostenible*. De acuerdo a Cuadra (2019), es probable que en las próximas décadas los espacios discontinuos de deforestación se vayan conectando a través de nuevos desmontes, conformando áreas agrícolas continuas. En otro artículo, Cuadra (2014) advierte que en varios Departamentos de Chaco, incluido Maipú, los bosques nativos ya no constituyen continuidades espaciales como en el pasado, sino que los remanentes conforman isletas de modestas extensiones y, por lo general, se hallan muy empobrecidos en especies y en maderas de valor económico. Sin embargo, a pesar de su escasa densidad, al estar estos bosques catalogados como de bajo grado de conservación (categoría III o zona verde), sufren una gran presión extractiva. Por otro lado, dentro del Departamento Maipú también existen bosques con mayores densidades, que a decir de Cuadra (2014, p.492) “no perforados intensivamente”, que ya empezaron a sufrir una importante reducción. De continuar esta tendencia, los bosques del Departamento tenderán a reducirse a la mínima expresión en las próximas décadas¹³:

El autor argumenta que, al desaparecer la cobertura boscosa de la zona verde, se pierde una faja de amortiguación de impactos que protege los bosques de alto y medio valor de conservación ubicados en las zonas roja y amarilla, al Noroeste. Además, a medida que la actividad humana se hace más intensa en las áreas “perforadas”, las rupturas de las cadenas simbióticas en los ecosistemas y las probabilidades de impacto antropogénico –intencional o no- se multiplican en forma significativa (Cuadra, 2014).

4.2.3 Estructura productiva

En las Tablas 4.1 a 4.3 se exponen datos departamentales del Censo Nacional Agropecuario (CNA) del año 2008¹⁴ realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC).

¹³ Al ser clasificados con bajo grado de conservación, la provincia autoriza el desmonte hasta un 90% de su cobertura forestal en predios que tienen hasta 100 hectáreas (Cuadra, 2014)

¹⁴ Si bien al momento de realizarse este trabajo, los resultados del CNA 2018 ya se encontraban disponibles, se observó que los datos del Departamento Maipú, referidos a la cantidad de explotaciones agropecuarias, cantidad

En el Cuadro 4.1 se puede observar que el 65% de las explotaciones agropecuarias (EAP) del departamento tienen una superficie menor a las 200 hectáreas, y que, contando los estratos intermedios, el 88% no supera las 500 hectáreas. Solo el 9% de las explotaciones tiene entre 500 y 1000 hectáreas, y el 4% restante, entre 1000 y 5000 hectáreas. Por otro lado, la superficie ocupada por los distintos estratos se distribuye con un 24% para las explotaciones de menos de 200 hectáreas; 28% para explotaciones de entre 200 y 500 hectáreas; 24% las de entre 500 y 1000 hectáreas, 17 % las de entre 1000 y 2500 hectáreas, y 7% las de más de 2500 hectáreas.

Para analizar la dinámica de la estructura productiva, el Cuadro 4.2 reúne la información del CNA del año 2002. Allí se puede ver que en ese entonces el Departamento contaba con un total de 900 explotaciones agropecuarias (- 8%) distribuidas en una superficie de 227.311 hectáreas (-2%). Estos datos nos muestran un leve proceso de concentración, con menos productores en total, menos productores en los estratos más bajos, y un incremento del número de productores en el segmento que va de las 1000 a las 2500 hectáreas.

Por otro lado, el Cuadro 4.3 muestra la dinámica del uso del suelo entre los periodos censales. Mientras la superficie destinada a cultivos extensivos se mantuvo prácticamente sin cambios, la superficie destinada al cultivo de forrajeras y a pasturas naturales tuvo un leve incremento de un 1%, y los bosques nativos o espontáneos se redujeron en un 4%.

Cuadro 4.1. Estructura productiva Departamento Maipú. Año 2008

| EAP | Superficie (ha) | | | | | |
|----------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|------------|---------------------|-------------------------------|
| | Frecuencia | Frecuencia Relativa | Frecuencia Relativa Acumulada | Frecuencia | Frecuencia Relativa | Frecuencia Relativa Acumulada |
| 0-25 | 60 | 7% | 7% | 950 | 0% | 0,4% |
| 26-50 | 115 | 13% | 19% | 4.913 | 2% | 3% |
| 51-100 | 182 | 20% | 40% | 14.934 | 7% | 9% |
| 101-200 | 227 | 25% | 65% | 32.867 | 14% | 24% |
| 201-500 | 208 | 23% | 88% | 64.564 | 28% | 52% |

de hectáreas ocupadas con agricultura, existencias bovinas y cantidad de explotaciones agropecuarias con ganado, presentan inconsistencias al compararlos con los datos censales del CNA 2008, del CNA 2002 y con la información estadística del SENASA. Por lo tanto, no fueron incluidos en la caracterización del área de estudio.

| | | | | | | | |
|----------------------|---|------------|------------|------|----------------|-----------|------|
| 501-1000 | | 77 | 9% | 97% | 54.454 | 24% | 76% |
| 1.001 - 2.500 | - | 26 | 3% | 99% | 38.828 | 17% | 93% |
| 2.501 - 5.000 | - | 5 | 1% | 100% | 15.801 | 7% | 100% |
| Total | | 900 | EAP | | 227.311 | ha | |

Fuente: INDEC, Censo Nacional Agropecuario 2008

Cuadro 4.2. Estructura productiva Departamento Maipú. Año 2002

| | EAP | | | Superficie (ha) | | | |
|----------------------|------------|---------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|------|
| | Frecuencia | Frecuencia Relativa | Frecuencia Relativa Acumulada | Frecuencia | Frecuencia Relativa | Frecuencia Relativa Acumulada | |
| 0-25 | 55 | 6% | 6% | 870 | 0% | 0% | |
| 25,1-50 | 144 | 15% | 20% | 6.093 | 3% | 3% | |
| 51-100 | 238 | 24% | 45% | 19.330 | 8% | 11% | |
| 101-200 | 241 | 25% | 70% | 34.509 | 15% | 26% | |
| 200-500 | 195 | 20% | 90% | 60.583 | 26% | 52% | |
| 501-1000 | 57 | 6% | 96% | 36.895 | 16% | 68% | |
| 1.001 - 2.500 | - | 39 | 4% | 100% | 59.375 | 26% | 94% |
| 2.501 - 5.000 | - | 4 | 0% | 100% | 14.593 | 6% | 100% |
| Total | 973 | EAP | | 232.246 | ha | | |

Fuente: INDEC, Censo Nacional Agropecuario 2002

Cuadro 4.3. Dinámica del uso del suelo en el Departamento Maipú

| | | 2002 | | 2008 | |
|---|----------------------------|---------|-----|---------|-----|
| Superficie implantada (ha) | Cultivos | 46.343 | 20% | 45.282 | 20% |
| | Forrajeras | 5.402 | 2% | 6.961 | 3% |
| | Bosques/montes | 102 | 0% | 31 | 0% |
| | Otros | 172 | 0% | 311 | 0% |
| Superficie destinada a otros usos (ha) | Pastizales | 43.158 | 19% | 45.797 | 20% |
| | Bosques/montes espontáneos | 134.651 | 58% | 123.463 | 54% |
| | Apta no utilizada | 893 | 0% | 2.244 | 1% |

| | | | | |
|--------------|----------------|----|----------------|----|
| No apta | 434 | 0% | 593 | 0% |
| Otros | 1.092 | 0% | 2.631 | 1% |
| Total | 232.246 | | 227.311 | |
| | ha | | ha | |

Fuente: INDEC, Censos Nacional Agropecuario 2002 y 2008

Con relación al uso del suelo agrícola, entre la primera y segunda ocupación del suelo, en los últimos doce años se implantaron con cultivos extensivos 72.112 hectáreas en promedio, de las cuales aproximadamente 31.500 hectáreas se destinaron a cultivos de primera ocupación y 40.500 a cultivos de segunda¹⁵(ver Cuadro 4.4). En la Figura 4.1 se muestra como se distribuyó la superficie entre los principales cultivos. El cultivo de soja ocupó el 34% de la superficie sembrada, seguido por Girasol, 26%; Maíz, 16% y Algodón, 12%. Con bastante menos participación se incluyeron en los planteos productivos Tigo, 6% y Sorgo, 5%.

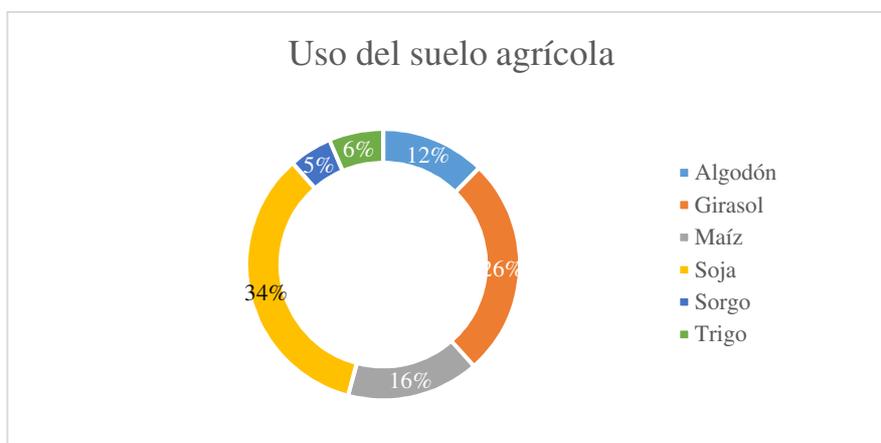
Cuadro 4.4 Uso del suelo agrícola con cultivos extensivos. Hectáreas promedio (campañas 2018/19 a 2021/22)

| | Superficie implantada | | 1° ocupación | 2° ocupación |
|---------|-----------------------|-----|---------------|---------------|
| Algodón | 8.932 | 12% | - | 8.932 |
| Girasol | 18.807 | 26% | 18.807 | - |
| Maíz | 11.303 | 16% | 3.391 | 7.912 |
| Soja | 24.762 | 34% | 4.705 | 20.057 |
| Sorgo | 3.672 | 5% | - | 3.672 |
| Trigo | 4.635 | 6% | 4.635 | - |
| | 72.112 | | 31.538 | 40.574 |

Fuente: elaboración propia con datos de las Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación

¹⁵ Proporciones estimadas en función de la información brindada por informantes calificados.

Figura 4.1 Distribución de la superficie agrícola entre los principales cultivos extensivos de secano



Fuente: elaboración propia con datos de las Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación

Volviendo al tema de la estructura productiva, otra fuente de información consultada fue la base de datos del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). Esta fuente revela que existe una concentración de las existencias bovinas del departamento en un número reducido de productores. Como se puede ver en el Cuadro 4.5, los cuatro estratos más grandes de productores (de más de 250 cabezas por establecimiento), reúnen apenas al 6% de los productores ganaderos del departamento, quienes en conjunto disponen del 45% de las existencias.

El estrato más numeroso es el más bajo (de menos de 50 cabezas por establecimiento), reuniendo al 58% de los productores, con solo el 15% de las cabezas totales. En el segmento medio, de entre 51 y 250 cabezas, se encuentran el 36% de los productores, con el 40% de las existencias del Departamento.

Cuadro 4.5 Estratificación de productores ganaderos del Departamento Maipú. Existencias al 31 de diciembre de 2021.

| Escala | Productores | | Total, bovinos | | Promedio Bovinos/Productor |
|---------------|-------------|-----|----------------|-----|-------------------------------|
| | Cantidad | % | Cabezas | % | |
| 0-50 | 528 | 58% | 11725 | 15% | 22 |
| 51-100 | 207 | 23% | 14859 | 18% | 72 |

| | | | | | |
|--------------------|------------|------|--------------|-----|------|
| 101-250 | 118 | 13% | 18071 | 22% | 153 |
| 251-500 | 34 | 4% | 11988 | 15% | 353 |
| 501-1000 | 16 | 2% | 10242 | 13% | 640 |
| 1000-2500 | 6 | 1% | 7002 | 9% | 1167 |
| más de 2500 | 2 | 0,2% | 6583 | 8% | 3292 |
| Total | 911 | | 80470 | | |

Fuente: SENASA

4.2.4 Aptitud de los suelos del Departamento Maipú

La aptitud de los suelos hace referencia a la *capacidad de uso* de los mismos. Esta es una clasificación que agrupa a los *suelos arables* de acuerdo con sus potencialidades y limitaciones para la producción de cultivos; y a los *suelos no arables*, de acuerdo con sus potencialidades y limitaciones para la producción de vegetación permanente (Ledesma et al., 1979). Este sistema de clasificación se basa en las Normas y Principios del Servicio de Conservación de Suelos en los Estados Unidos de América. En la década del 1970 el equipo de suelos del INTA Sáenz Peña, liderado por el Ing. Agr. Lino Luís LEDESMA, realizó la clasificación y mapeo de los suelos del Departamento Maipú, siguiendo el sistema norteamericano, el cual establece ocho *Clases* para evaluar la aptitud agropecuaria o forestal de las tierras:

Clase I: suelos sin limitaciones importantes, por lo que es posible un amplio rango de explotación, incluyendo forrajes cada cinco o seis años para reposición de materia orgánica. Esta clase de suelos no está presente en el Departamento Maipú. De acuerdo a Ledesma (1979) esto se debe a las condiciones climáticas, principalmente por la falta de lluvias.

Clase II: son suelos con posibilidad de realizar cultivos sin grandes problemas, si se tratan las limitaciones ligeras que poseen. Son suelos con riesgos ligeros de erosión hídrica o eólica, salinidad y alcalinidad. Los rendimientos de los cultivos son ocasionalmente reducidos por falta de humedad durante períodos normales de sequía. Son suelos con inundaciones raras o muy excepcionales. En el Departamento Maipú, **el 21,1% de los suelos son de esta clase.**

Clase III: suelos con posible regularidad en los cultivos si se tratan las limitaciones y riesgo de erosión hídrica o eólica moderada (pérdida del 25% al 50% del horizonte superficial), salinidad o alcalinidad moderada. Los rendimientos de los cultivos se ven frecuentemente

reducidos por falta de humedad durante los períodos normales de sequía. En algunos años, se pueden esperar algunas inundaciones que pueden destruir sembrados impedir el uso del suelo. **El 25,2% pertenecen a esta categoría.**

Clase IV: suelos con posibilidades limitadas de ser cultivadas; con aptitud para cultivar pasturas o la producción de heno para forrajes. Posen riesgo de erosión hídrica o eólica severa (pérdida de más del 50% del horizonte superficial), y salinidad o alcalinidad severa.

Los rendimientos de los cultivos son muy frecuentemente reducidos por falta de humedad durante los períodos normales de sequía. Frecuentes inundaciones en ciertos meses del año, por lo que la producción de cultivos es insegura. **El 40,14% de los suelos** pertenecen a esta clase.

Clase V: suelos aptos para pasturas permanentes. El problema principal es el riesgo de encharcamiento. **Alcanza al 6,79% de los suelos.**

Clase VI: suelos con limitaciones moderadas para pasturas o forestales. **Alcanza al 5,12%** de los suelos.

Clase VII: suelos con limitaciones severas para pasturas o forestales.

Clase VIII: suelos sin utilidad práctica para uso agropecuario o forestal, pero que pueden servir como lugares de recreo, vida silvestre, etc.

No hay suelos Clase VII y VIII en el Departamento Maipú.

En el Anexo II se presenta el Mapa de capacidad de uso de los suelos realizado por Ledesma et al. (1979).

De acuerdo al informe de estos autores, alrededor del 25% de los suelos del Departamento, son aptos para ganadería. En general se trata de suelos sujetos a excesos de humedad, debido a que se encuentran en los bajos del relieve; o con problemas de drenaje, permeabilidad, sales, etc., con presencia de raleras y fachinales, que se caracterizan por colonias de plantas adaptadas a estas restricciones de los suelos y a la sequía. Siguiendo a Ledesma (1979), la mayoría son plantas con características xerofíticas, es decir que son capaces de sobrevivir, no porque hacen buen uso de la humedad, sino por su capacidad de tolerar la deficiencia de agua. En general no producen suficiente carne. En las chacras ocupan los sectores más

pobres. Suman muchas hectáreas, que bien manejadas podrían convertirse en una importante fuente de recursos (Ledesma et al., 1979).

Actualmente, aproximadamente 48%¹⁶ del Departamento está cubierto por montes, de los cuales aproximadamente la mitad pueden considerarse comercialmente productivos. Estos montes, además de proporcionar parte del agua que reciben las pampas, proveen también otras como madera, forraje y sombra.

4.2.5 Riesgos edafológicos y climáticos

Brest et al. (2019) argumentan que una extensa área de la Provincia del Chaco, donde se incluye al Departamento Maipú, se encuentra bajo la amenaza de riesgos agro-edafológicos que condicionan la producción agrícola, ganadera y forestal. Estos riesgos son: 1) riesgo de anegamiento; 2) riesgo de encharcamiento; 3) riesgo de retención de humedad; 4) riesgo de condiciones químicas adversas; 5) riesgo de condiciones físicas adversas; 6) susceptibilidad a la erosión. Estos son precisamente los riesgos o tensiones de largo plazo que experimentan los suelos que se tuvieron en cuenta para aplicar la heurística del *Enfoque de Vías*.

A continuación, en el Cuadro 4.6, se exponen la definición de cada uno de estos riesgos, tal como los conceptualizan Brest et al. (2019). Por otra parte, en el Anexo III, se encuentra el mapeo de dichos riesgos en el Departamento Maipú.

Cuadro 4.6 Riesgos agro-edafológicos del Departamento Maipú, Chaco

Riesgo de encharcamiento

Anegamientos de moderada a ligera frecuencia, de muy poca profundidad que afectan de manera espacialmente irregular los suelos agrícolas, por lo general, impidiendo el ingreso de maquinarias o dificultando las tareas sobre los cultivos. Los suelos por lo general tienen buen espesor horizonte A, de buena fertilidad natural; pudiendo existir por debajo un horizonte lavado (E), el horizonte B es de moderada a fuertemente textural; se encuentran en posiciones de lomas medias desarrollados bajo de vegetación de bosques altos abiertos

¹⁶ Información brindada por el INTA EEA Sáenz Peña – Área de RRNN – Laboratorio Teledetección y SIG

y pastizales. La aptitud de los suelos es agrícola o agrícola-ganadera. Se identifican en el mapa como las unidades de color CELESTE

Riesgo de retención de humedad

El suelo presenta una porosidad no capilar relativamente alta y una velocidad de percolación mayor a 6 cm/ha. Los cultivos se ven afectados por estrés hídrico pocos días después de las precipitaciones. Son suelos de texturas medias a livianas en todo el perfil, con una secuencia de horizontes A-C, suelos profundos de buena a regular fertilidad natural, de escasa estabilidad estructural en superficie; con vegetación de bosques altos ubicados en lomas o lomas medias tendidas con escaso gradiente de pendiente, suelos de buena aptitud agrícola con recurrencia en la formación de pisos de arado. En áreas de lluvias restringidas son suelos de aptitud mixta. Se identifican en el mapa como las unidades de color AMARILLO

Riesgos de condiciones físicas adversas.

Presencia de horizontes que reúnen características indeseables para el normal desarrollo radical de pasturas y cultivos comunes. Son suelos con presencia de horizonte E superficial, o muy escaso espesor de horizonte A; el horizonte B de moderada a fuertemente textural, regular a pobre contenido de materia orgánica. En ocasiones, por su ubicación en el relieve, sufren encharcamientos durante la época de grandes precipitaciones. La aptitud de este grupo es ganadera-agrícola o ganadera. Se identifican en el mapa como las unidades de color NARANJA

Riesgo de erosión

Erosión hídrica está relacionado principalmente con las lluvias (cantidad e intensidad), aunque la longitud y grado de la pendiente y condiciones de superficie y del perfil del suelo, también son factores contribuyentes importantes. El agua produce la erosión en dos etapas; primero arranca la partícula de suelo y luego la transporta por escurrimiento superficial. Cuando este escurrimiento se canaliza, aumenta su capacidad de transporte. Se trata de suelos con secuencia de horizontes A-B-C con buena profundidad efectiva, texturas medias, buen contenido de materia orgánica, buena fertilidad natural, buena

retención de humedad. Correspondientes a suelos desarrollados sobre vegetación de pastizales y bosques altos cerrados. Se identifican en el mapa como las unidades de color VERDE.

Con la erosión eólica las partículas de suelo son cambiadas de lugar por saltación, es decir por desprendimiento violento; por suspensión en el aire y por el arrastre superficial. La tierra removida por saltación y por arrastre no va muy lejos, se queda en la misma área de erosión o en sus inmediaciones. La que está en suspensión puede viajar centenares de kilómetros, ya que la capacidad del viento como vehículo de transporte es enorme.

Riesgo de degradación química del suelo

Reúne a los procesos de pérdida de materia orgánica y de otros nutrientes del suelo, como así también los cambios en los niveles de acidez del suelo, el aumento de sales, la alcalinización y/o la toxicidad, ocasionados por la extracción de nutrientes o por el uso inadecuado del suelo.

Fuente: Brest, López y Zurita (2019)

Riesgo climático

El Chaco es principalmente una zona subtropical, con heladas invernales que ocurren con menos frecuencia en el noreste y con mayor frecuencia que va hacia el suroeste. Debido a su clima continental hay grandes variaciones de temperaturas entre el verano y el invierno, como máxima de 40 ° C se puede alcanzar cuando el sol está alto, mientras que en invierno se produce algunas heladas. El régimen de precipitaciones en el Departamento Maipú presenta una gran variabilidad temporal y espacial. En términos de la distribución temporal, los registros de la estación meteorológica de la localidad de Tres Isletas muestran un patrón de lluvias más altas entre los meses de octubre y abril (el 84% de la precipitación media anual), y un período seco entre mayo y septiembre (16% de la precipitación media anual), como se puede observar en el Cuadro 4.7. Las desviaciones de los valores promedio muestran una gran variabilidad pluviométrica en todos los meses del año hidrológico, siendo los meses de noviembre, diciembre y enero los que presentan menor variabilidad, y los meses de junio, julio y agosto, los de mayor riesgo. Estos datos muestran que la producción en el

Departamento Maipú se lleva a cabo bajo un imponente riesgo climático. Aunque la pluviometría media anual debería ser adecuada para satisfacer las necesidades de los cultivos y de la ganadería, la variabilidad de las lluvias causa severas limitaciones para la producción de cultivos agrícolas, para la producción de forrajes y el abastecimiento de agua para los animales.

Cuadro 4.7 Variabilidad de las precipitaciones mensuales registradas en la localidad de Tres Isletas, Departamento Maipú, Chaco

| | Max | Promedio | Min | Desv. Est. | Coef. Var |
|------------|------------|-----------------|------------|-------------------|------------------|
| Septiembre | 173 | 37 | 0 | 35 | 94% |
| Octubre | 348 | 91 | 5 | 70 | 77% |
| Noviembre | 422 | 129 | 17 | 84 | 65% |
| Diciembre | 347 | 106 | 0 | 66 | 62% |
| Enero | 341 | 120 | 0 | 76 | 63% |
| Febrero | 360 | 115 | 0 | 93 | 80% |
| Marzo | 499 | 136 | 0 | 97 | 72% |
| Abril | 366 | 112 | 4 | 74 | 66% |
| Mayo | 210 | 52 | 0 | 51 | 97% |
| Junio | 155 | 25 | 0 | 30 | 119% |
| Julio | 92 | 16 | 0 | 22 | 138% |
| Agosto | 109 | 20 | 0 | 23 | 116% |
| Anual | | 960 | | 275 | 29% |

Fuente: elaboración propia con datos de la Administración Provincial del Agua (APA)

El Banco Mundial (2013), por otra parte, analizó las precipitaciones de 25 estaciones meteorológicas del Chaco, entre ellas la de Tres Isletas, entre los años 1980 y 2012, con el objetivo de brindar una estimación amplia de la frecuencia y severidad de los valores extremos de precipitación anual, e identificar si existe alguna tendencia registrada en el régimen de precipitaciones. Para ello, utilizó una clasificación graduada de la precipitación, donde al comparar la precipitación anual real registrada en cada estación con el promedio de 10 años, se clasificó a cada año hidrológico¹⁷, entre 1980 y 2012, de acuerdo los desvíos porcentuales, en siete categorías (ver Tabla 4.1):

¹⁷ Los años hidrológicos en la provincia del Chaco van desde el 1° de septiembre hasta el 31 de agosto del año siguiente.

Tabla 4.1 Clasificación de los años hidrológicos

| | Desvío de la norma % | |
|-----------------|----------------------|----------|
| Exceso severo | 45% | a < |
| Exceso moderado | 30% | a 44,99% |
| Exceso | 15% | a 29,99% |
| Normal | -14,99% | a 14,99% |
| Sequía | -29,99% | a -15% |
| Sequía moderada | -44,99% | a -30% |
| Sequía severa | < | a -45% |

El análisis realizado por el Banco Mundial, informado en el Cuadro 4.8, muestra que entre 1980 y 2009, el número de veces que la estación meteorológica analizada registró excesos y déficits de precipitaciones fue en promedio decadal de 2,67 veces (excesos) y 3 veces (sequías). Sin embargo, lo más interesante que resalta el estudio es que en esos 30 años hubo un cambio en la frecuencia de eventos moderados a severos, tanto de excesos como de sequías. Mientras que los eventos de exceso de precipitaciones fueron más frecuentes en la década de 1980, el número de veces que la estación meteorológica registró este tipo de eventos se redujo a la mitad, a finales de la década de 2000, de 4 a 2 eventos. Por el contrario, los eventos de sequía moderada a grave casi se han triplicado entre los años 1990 y la década de 2000.

Cuadro 4.8 Estimación de eventos de Sequía (Exceso de precipitación) Moderada a Severa, 1980 - 2010. Estación meteorológica de Tres Isletas.

| | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Año | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 |
| Desvío | 20,48% | 56,97% | -1,29% | -21,07% | -13,32% | 12,33% | 52,69% | -8,35% | -1,69% | 24,06% |
| Año | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
| Desvío | 11,93% | 5,07% | 38,48% | -20,37% | -2,08% | -41,95% | 70,98% | 9,05% | -14,75% | -29,52% |
| Año | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Desvío | 21,18% | -49,70% | 25,25% | -40,54% | -2,48% | -44,03% | 0,40% | -19,58% | -31,81% | -6,46% |

Fuente: Banco Mundial (2013)

Siguiendo la misma metodología, en este trabajo se realizaron los cálculos con los datos de precipitación de los años 2011 a 2019, para la misma estación meteorológica. El Cuadro 4.9 muestra que, en la década que va desde el año 2010 a 2019, la tendencia señalada por el informe del Banco Mundial (2013) no solo se mantuvo, sino que se ha profundizado; el

número de eventos de sequías moderadas a severas se ha incrementado tanto en frecuencia como en intensidad. En la década analizada, solo dos años fueron años “normales” (2011 y 2016), tres fueron de exceso de precipitación, y cinco fueron años de sequía (una leve, una moderada y tres severas). De continuar esta tendencia, la gestión del agua y la adaptación a estas condiciones climáticas se vuelve cada vez más apremiante.

Cuadro 4.9 Estimación de eventos de Sequía (Exceso de precipitación) Moderada a Severa, 2010 - 2019. Estación meteorológica de Tres Isletas.

| Año | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|------|--------|---------|--------|
| Desvío | -30,2% | 12,6% | -64,1% | -81,1% | 25,78% | -55,8% | 6% | 27,72% | -23,89% | 42,85% |

Fuente: Elaboración propia con datos de la Administración Provincial del Agua (APA)

4.3 Clasificación funcional de los sistemas de producción

El contexto geográfico de estudio es un paisaje socio-ecológico complejo y diverso donde coexisten múltiples realidades productivas. Cada sistema agropecuario es diferente, si no único, enfrentando problemas propios de toma de decisiones, y cuyas soluciones también podrían ser únicas. La gran complejidad existente puso de manifiesto la necesidad de clasificar o agrupar las fincas de alguna manera, y de definir un esquema de organización conceptual de la diversidad, con el fin de facilitar la visualización, permitir el análisis y comprensión del funcionamiento actual de los sistemas de producción en el Departamento Maipú.

Para ello se construyó una *tipología funcional* de los sistemas de producción. La construcción de una tipología es un proceso de clasificación, descripción, comparación e interpretación o explicación de un conjunto de elementos sobre la base de criterios seleccionados, lo que permite la reducción y simplificación de una multiplicidad de elementos en unos pocos tipos básicos (Álvarez et al., 2014). Los *tipos* o grupos resultantes están constituidos por sistemas productivos aproximadamente homogéneos con circunstancias similares. Madry et al. (2013) definen a un *tipo* de sistema agropecuario como una población de sistemas agropecuarios individuales que tienen bases de recursos, patrones empresariales, medios de vida y limitaciones familiares muy similares.

En la literatura aparecen diferentes modos de tipologías de sistemas agropecuarios. Las más comunes son las tipologías estructurales y las tipologías funcionales. En las tipologías estructurales, de los sistemas se realiza en función de cómo se organizan los factores de la producción. En las tipologías funcionales el agrupamiento de los sistemas se realiza en función de las decisiones realizadas por los productores, dadas las limitaciones del ambiente natural, las restricciones presupuestarias, las fluctuaciones climáticas y las cambiantes condiciones socio-económicas.

Para obtener tipologías agropecuarias por lo general se utilizan métodos analíticos, siendo los más frecuentes multivariados. Sin embargo, en algunos casos se utilizan los métodos basados en expertos.

Los métodos expertos fueron los primeros en ser utilizados como herramientas para definir áreas concretas y se basan en conocimientos especializados respaldados por mapas de cobertura del suelo, que guían a investigadores o extensionistas agropecuarios, y toda la información sintética oficial recopilada por las administraciones estatales y locales disponible (Clavel et al., 2011).

Este tipo de método se usa en general cuando los sistemas agrícolas están menos desarrollados (Perevolotsky, 1990) o cuando los sistemas agrícolas están altamente evolucionados y, en consecuencia, son bien conocidos por los expertos (Acosta-Alba et al., 2012). Los tipos se pueden identificar de acuerdo con la consulta de campo de expertos técnicos, autoridades locales, entrevistas con partes interesadas, etc.

Los métodos expertos fueron posteriormente reemplazados por métodos analíticos, o se han utilizado como herramientas complementarias a estos (Carmona et al., 2010; Clavel et al., 2011; Van de Steeg et al., 2010).

En el contexto de esta investigación, se consideró apropiado construir una tipología funcional centrada en variables que describen la toma de decisiones productivas, utilizando el método basado en el conocimiento de expertos locales, informantes claves y productores. El enfoque cualitativo adoptado aquí se enmarcó en un paradigma constructivista, que se basó en la identificación de los patrones dinámicos de los sistemas agropecuarios de largo plazo. Para diseñar los cuestionarios de entrevistas, se identificaron a priori en la literatura cuatro variables que describen las estrategias de sustento de las fincas. Sin embargo, las preguntas

realizadas en las entrevistas fueron lo suficientemente amplias y abiertas para que los participantes puedan construir el significado de la situación contextual.

Las cuatro variables escogidas para realizar la clasificación de los sistemas agropecuarios fueron:

- *Especialización*

Hace referencia a las actividades principales de la finca. De acuerdo a estas, los sistemas fueron clasificados en agrícolas, ganaderos-forestales y mixtos (agrícola-ganaderos-forestales).

- *Escala*

Hace referencia al tamaño o dimensión, ya sea de la actividad principal o del sistema completo. En los sistemas agrícolas, la escala se midió por la cantidad de hectáreas de extensión; en sistemas ganaderos se consideró la cantidad de cabezas que componen el rodeo de la actividad principal; y en sistemas mixtos se combinaron los parámetros de cantidad de hectáreas de superficie con cantidad de cabezas del rodeo principal.

- *Uso de la tierra*

El uso de la tierra es un tema importante con relación al impacto ambiental de la agricultura. En los establecimientos ganaderos, se consideró la estrategia de manejo nutricional, que abarca desde el campo natural hasta praderas implantadas y el aprovechamiento del monte. En los sistemas agrícolas, se consideraron los patrones de cultivos, las rotaciones, los tipos de prácticas realizadas en barbechos como estrategias de manejo.

- *Nivel de intensificación*

La intensificación es una dimensión importante con respecto al desempeño económico y ambiental del sistema. Los sistemas que producen con un nivel de intensidad bajo (bajos insumos y normalmente bajos rendimientos) generalmente tienen una menor presión sobre el medio ambiente que los sistemas que cultivan a un nivel de mayor intensificación. Sin embargo, en algunos casos los sistemas de baja intensificación pueden tener efectos negativos sobre el medio ambiente, por ejemplo, algunos tipos de erosión de suelos.

La intensificación en sistemas agrícolas se midió con respecto al nivel de insumos utilizados, que a su vez está vinculado al manejo de la tierra. En sistemas ganaderos, la intensificación se midió por la carga animal, medido por *equivalente vaca por hectárea* (EV/ha), medida que está vinculada a las estrategias de alimentación. La *unidad vaca* o *equivalente vaca* es el promedio anual de los requerimientos de una vaca de 400 kg de peso, que gesta y cría un ternero hasta el destete a los 6 meses de edad con 160 kg de peso, incluido el forraje consumido por el ternero (Bavera, 2006).

Para obtener los datos se realizaron cinco entrevistas: una entrevista grupal, con 12 participantes, y cuatro entrevistas individuales, en profundidad. Los participantes de la entrevista grupal fueron: un técnico del Municipio de la Localidad de Tres Isletas, un técnico del Ministerio de la Producción de la Provincia, cinco técnicos del Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria (INTA), un promotor asesor del Programa “Cambio Rural”, un representante del “Consortio de Servicios Rurales N°12”, un representante de la Sociedad Rural del Norte Chaqueño, un representante de la Asociación de Pequeños Productores Orgánicos y un productor de la zona. En las entrevistas individuales participaron dos asesores privados, un productor de la zona y el responsable de la oficina local del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). Las entrevistas fueron todas transcritas a archivos de Microsoft Word y su contenido analizado con el software Atlas.ti ®.

Complementariamente, se utilizaron datos censales, catastrales, datos espaciales de la región como la Carta de Suelos del Departamento (Ledesma et al., 1979) e imágenes satelitales, y otras fuentes documentales de distintos autores para analizar las características ambientales y socio-económicas del paisaje y analizar la dinámica territorial.

La tipificación permitió obtener información sobre el funcionamiento actual de los sistemas de producción, y seleccionar los tipos de sistemas mixtos que sirvieron como línea de base para aplicar la heurística del *Enfoque de Vías*.

4.4 El Método Delphi Fundamentado para establecer nuevas trayectorias sostenibles

El conocimiento obtenido sobre el funcionamiento de los sistemas de producción en el área de estudio permitió caracterizarlos fijando sus límites, estructura y funciones. Esta

información junto con la consideración de los riesgos y presiones que afectan al funcionamiento de los sistemas, permitieron aplicar la heurística del enfoque de *Vías* con el fin de obtener, como objetivo final, los caminos alternativos a la sostenibilidad de los sistemas de producción y del sistema socio-ecológico en una escala espacial más amplia.

Este proceso consistió en identificar las *acciones de control* y las *acciones de respuesta adaptativa* necesarias para hacer frente a shocks transitorios (fenómenos climáticos extremos) y presiones permanentes (riesgos agro-edafológicos), de manera que emerjan las propiedades dinámicas de estabilidad, durabilidad, resiliencia y robustez en el largo plazo. La metodología utilizada para identificar estos patrones consistió en un diseño *Ad hoc* que combinó el *Método Delphi* de consulta a expertos con la *Teoría Fundamentada* (Strauss & Corbin, 1990).

El Método Delphi es una metodología utilizada para obtener una opinión consensuada y representativa de un grupo de expertos sobre un tema. Para ello, se estructura un proceso de comunicación grupal de manera efectiva para permitir que el grupo, como un todo, se ocupe de un problema complejo (Linstone & Turoff, 1975). Este es un procedimiento de múltiples rondas, que se pueden realizar secuencialmente o en tiempo real con la asistencia de un software (Beiderbeck et al., 2021). En el proceso, a los expertos se les proporciona retroalimentación de las contribuciones individuales de información y conocimiento, alguna evaluación del juicio o punto de vista del grupo, una oportunidad para que las personas revisen sus puntos de vista, y cierto grado de anonimato para las respuestas individuales (Okoli & Pawlowski, 2004). El método fue desarrollado por la *RAND Corporation* en la década de 1950 para pronosticar el efecto de la tecnología en la guerra. Desde entonces, se ha aplicado al cuidado de la salud, la educación, la gestión y las ciencias ambientales (RAND Corporation, 2022).

Por lo general el Delphi se utiliza en situaciones en las que se quiere tener conocimientos de eventualidades futuras, pero hay poca información del pasado, o la información pasada no tiene asidero, como, por ejemplo, cuando se quieren prever efectos de la implementación de determinadas tecnologías o de la implementación de políticas.

Desde sus inicios, el método fue empleado en una amplia variedad de situaciones y se han desarrollado distintas variantes del mismo para adaptarlo a la resolución de problemas y

objetivos específicos. Algunas de las aplicaciones incluyen la identificación y priorización de problemas, los pronósticos, el desarrollo de conceptos y/o marcos conceptuales, el desarrollo de una clasificación o taxonomía. Aunque la construcción de teorías no es su enfoque principal, los estudios Delphi también pueden ser útiles en el desarrollo de teorías (Day & Bobeva, 2005; Okoli & Pawlowski, 2004), más aún si se incorporan herramientas de la teoría fundamentada para analizar los datos y generar la teoría, por ejemplo, como en el trabajo de Päivärinta et al. (2011) quienes propusieron un método Delphi mejorado que integra técnicas de análisis de datos de la teoría fundamentada, al que denominaron el *método Delphi fundamentado*.

El Delphi es un método es flexible y se puede utilizar con fuentes de datos cuantitativos y cualitativos, o con una combinación ambos tipos de datos. Las evaluaciones cuantitativas generalmente incluyen la probabilidad, el impacto y la conveniencia de que ocurra un evento. Otras dimensiones podrían referirse a la innovación, la urgencia o la viabilidad técnica, por ejemplo. Además, los estudios Delphi hacen uso de preguntas de orden de rango, escalas de calificación o preguntas abiertas (Beiderbeck et al., 2021). Si se incluye información anecdótica y cualitativa, se enriquece el contenido del *feedback* lo que permite tomar una decisión más informada sobre el grado de consenso (Day & Bobeva, 2005). Sin embargo, en la literatura predominan los *Delphi* cuantitativos o mixtos, y existe mucha menos guía para aquellos que deseen utilizar el método con datos cualitativos. Sobre todo, falta información sobre cómo se debería abordar la agregación y el análisis de datos en los Delphi cualitativos (Brady, 2015). Es aquí donde la *Teoría Fundamentada* hace su contribución.

La Teoría Fundamentada fue propuesta originalmente por Barney G. Glaser y Anselm L. Strauss (1967) como una aproximación inductiva a la realidad social, que se contrapone a los enfoques positivistas, se distingue de la teoría desarrollada deductivamente y de la teoría establecida sistemáticamente a través de la prueba de hipótesis¹⁸ (Scott & Glaser, 1971). Glaser y Strauss hicieron varias publicaciones¹⁹, primero como co-autores y luego por

¹⁸ Glaser y Strauss reconocen que la prueba formal de hipótesis puede revelar algunas teorías nuevas, sin embargo, sostienen que este no es el carácter esencial del proceso, ya que la preocupación por la verificación desalienta la generación de una teoría "más completa y más densa".

¹⁹ Entre ellas se destacan: *Theoretical Sensitivity* de Glaser (1978); *Basics of Grounded Theory Analysis* de Glaser (1992); *Qualitative Analysis for Social Scientists* de Strauss (1987); y *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory: Procedures and Techniques* de Strauss y Corbin (1990).

separado, ya que su concepción sobre la teoría fundamentada se volvió divergente (Babchuk, 1996). En 1990 Strauss junto a Juliet Corbin publicaron *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory: Procedures and Techniques* (1990), un libro en el que exponen de manera precisa y detallada un conjunto de pasos y técnicas para el análisis de datos cualitativos desde la perspectiva de Strauss²⁰.

Independiente de si el enfoque es de Strauss o de Glaser, la teoría fundamentada implica necesariamente un proceso de investigación intencionado, en el que el análisis comparativo tiene una función crucial. El núcleo de la teoría fundamentada se encuentra en el proceso de codificación que consta de tres fases: 1) codificación abierta; 2) codificación axial; y 3) codificación selectiva.

La codificación abierta es el proceso inicial que implica descomponer, analizar, comparar y categorizar los datos. En la codificación abierta, y a través de la comparación constante, los incidentes o eventos se etiquetan y agrupan para formar categorías y propiedades. La codificación axial, por otro lado, representa el establecimiento de relaciones hipotéticas entre categorías y subcategorías, mientras que la codificación selectiva es el proceso mediante el cual se escoge una categoría central y se la relaciona con las demás categorías, que finalmente se convierten en la base de la teoría fundamentada. Una de las capacidades clave que los investigadores deben tener o deben desarrollar para postular una teoría al final de su estudio es lo que se conoce como *sensibilidad teórica*. Por sensibilidad teórica se entiende a la habilidad que debe poseer el investigador para generar conceptos desde los datos (Barrios, 2015).

Al igual que con el método Delphi, los procesos de recopilación y análisis de datos para la teoría fundamentada están estrechamente entrelazados y son iterativos (Howard, 2018). El proceso de codificación abierta comienza tan pronto como se ha recopilado el primer conjunto de datos. En un estudio de teoría fundamentada, el investigador elige participantes que pueden contribuir a construir la apertura, la codificación axial y al desarrollo de la teoría, proceso que se conoce como muestreo teórico (Strauss & Corbin, 2012). La cantidad de pasajes al campo depende de si las categorías de información se saturan y si la teoría se elabora en su complejidad. Se considera que una categoría está saturada cuando, al parecer, ya no

²⁰ Babchuc (1996) aborda las diferencias epistemológicas y ontológicas entre los enfoques de Glaser y Strauss.

emerge información nueva durante la codificación, o sea, cuando en los datos ya no hay nuevas propiedades, dimensiones, condiciones, acciones/interacciones o consecuencias (Strauss & Corbin, 2012), aunque Creswell (2007) sostiene que, si uno buscara más, y con más ahínco, siempre se encontrará propiedades o dimensiones adicionales; siempre existe la posibilidad de que surjan cosas "nuevas". La saturación consiste más bien en alcanzar el punto en la investigación, cuando la recolección de datos parece ser contraproducente porque lo "nuevo" que se descubre no le añade mucho a la explicación.

El Método Delphi Fundamentado

Tanto la teoría fundamentada como el método Delphi son métodos utilizados para la investigación exploratoria y son idóneos para desarrollar una teoría. Sin embargo, ambas metodologías tienen deficiencias en ambas metodologías, que pueden salvarse cuando las combina (Päivärinta et al., 2011).

Por un lado, el método Delphi resulta apropiado para construir una teoría práctica, ya que al enfatizar los puntos de acuerdo sostenidos por expertos permite formular principios teóricos comparables, y al mismo tiempo, identificar brechas en las disidencias, que pueden entenderse mejor con estudios de seguimiento. Sin embargo, para que esto sea posible es necesario que los expertos vayan más allá de sus habilidades inherentes de pronóstico justifiquen sus respuestas para facilitar la observación de relaciones causales entre los factores identificados en el estudio (Okoli & Pawlowski, 2004), lo cual lleva al Delphi al terreno del enfoque cualitativo. Es allí donde la Teoría Fundamentada hace su aporte para el análisis de los datos, en especial, para abordar la agregación de los datos.

Por otro lado, en la tradición de la teoría fundamentada, el investigador tiene el poder fáctico de interpretar los datos de acuerdo con sus preferencias y enfoques personales al elegir las categorías centrales para la construcción de la teoría. Si bien se han sugerido criterios como la frecuencia o la centralidad de los conceptos descubiertos para fundamentar la selección de las categorías centrales, incluso su identificación depende en gran medida de la sensibilidad teórica del investigador y de sus interpretaciones y preferencias. Dado que la sensibilidad teórica depende en gran medida de la formación disciplinar y conocimientos previos del investigador, y de la práctica que vaya desplegando al codificar datos y generar conceptos (Barrios, 2015), el método Delphi de consulta a expertos introduce un procedimiento

sistemático para validar la lista consolidada de temas que hacen al problema de investigación, que se puede utilizar como base para la codificación abierta y la priorización explícita de los problemas emergentes por parte de los expertos de campo. Para Päivärinta et al. (2011), el método Delphi fundamentado minimiza, en mayor medida que en la teoría fundamentada convencional, los sesgos personales y la falta de sensibilidad teórica del investigador al momento de observar y priorizar las categorías centrales. Sin embargo, para los autores, el valor del Delphi fundamentado reside en la fuerza analítica que la teoría fundamentada aporta al método Delphi.

Adaptación de la metodología

El proceso de implementación de la metodología se dividió en tres fases:

1. Fase de preparación.

En la primera fase se analizó la información resultante de la tipología de sistemas, se seleccionaron los sistemas a abordar; se elaboró el cuestionario que, en la segunda fase, se envió a los expertos; y se armó una lista de expertos a incluir en el Delphi como informantes calificados. En este proceso se hicieron consultas reiteradas a los investigadores del Área de Recursos Naturales del INTA EEA Sáenz Peña, quienes tienen una vasta trayectoria trabajando en Suelos y conocen cabalmente el área de estudio.

- Sistemas seleccionados: los sistemas mixtos fueron los seleccionados para delimitar el/los sistemas en estudio, definir sus estructuras y funciones. Esta elección se basó en su alto nivel representatividad en la zona.
- Elaboración del cuestionario: para recoger la opinión de los expertos en la primera ronda, se diseñó un cuestionario semi-estructurado, donde se presentó información sobre el tipo de sistema de producción que se estaba estudiando y los riesgos agro-edafológicos que se estaban abordando. Los riesgos climáticos (déficits y excesos de precipitación) se abordaron conjuntamente con los riesgos agro-edafológicos, ya que, como afirma Artieda (2008) los suelos y las aguas son dos componentes de los ecosistemas cuya conservación debe abordarse de manera conjunta (p. 19). Por lo tanto, las preguntas sobre gestión de riesgos agro-edafológicos involucraban al mismo tiempo la gestión del riesgo climático.

Las preguntas formuladas seguían una estructura ordenada por tipo de riesgo agro-edafológico, pero estas eran lo suficientemente abiertas para obtener los

pensamientos e ideas de los participantes sobre los tipos de *acciones de control* y de *respuesta adaptativa* que se podrían implementar para abordarlos. El cuestionario incluyó también una aclaración sobre el significado de los dos tipos de acciones, de acuerdo a las definiciones brindadas en el apartado 2.5 del Capítulo 2. En el cuestionario se les pidió a los participantes que a las acciones de control las separaran en acciones de corto plazo y acciones de largo plazo. Para las acciones de respuesta adaptativa no se solicitó tal discriminación, para que no resultara confuso el uso del concepto para los participantes.

- Selección del panel de expertos: los expertos que conformaron el panel fueron seleccionados cuidadosamente, estableciendo como requisito principal que tuvieran una comprensión profunda de los problemas a abordar, de manera que pudieran contribuir de manera confiable con sus respuestas. También se buscó que la conformación del panel tuviera una alta representación de participantes de la subdisciplina de las Ciencias del Suelo; equidad de género; y que contara con participantes relacionados con la extensión y las actividades en el terreno.

En total se invitó a participar a 13 expertos (6 hombres y 7 mujeres), quienes aseguraban que el panel reuniera todos los requisitos. De los 13, 11 expertos respondieron positivamente a la invitación. Cabe mencionar que la selección de los participantes no se limitó a los contactos directos. Si bien comenzó por allí la búsqueda de expertos, también se invitó a participar a otros informantes clave, recomendados por los primeros expertos contactados.

En la literatura no hay un claro consenso sobre el número ideal de participantes para un estudio Delphi exitoso (Howard, 2018), los números recomendados varía de 5 a 20 expertos (Forsyth, 2010; Gustafson et al., 1986; Hsu & Sandford, 2007). Por lo tanto, depende del criterio del investigador tomar una decisión informada. En este caso, se decidió continuar el proceso con los 11 expertos que respondieron afirmativamente, ya que, de todos modos, se cumplían los requisitos impuestos para la conformación del panel, y, además, porque se consideró que este era un número suficiente de informantes para abordar el problema de gestión del suelo en un área geográfica relativamente reducida.

2. Fase de consulta a expertos

Los informantes respondieron el cuestionario de manera asincrónica. El cuestionario fue remitido de manera individual por correo electrónico, lo cual permitió asegurar el total anonimato de los participantes. Los correos fueron enviados entre el 18 de agosto y el 8 de septiembre del año 2020, y recibidos entre el 20 de agosto y 14 de septiembre del año 2020.

3. Fase de análisis de los datos

A medida que se fueron recibiendo los formularios con las respuestas se fueron cargando, sin ningún tratamiento previo, en el software Atlas.ti®, y se procedió a la codificación abierta del contenido, siguiendo los principios de codificación de la Teoría Fundamentada. Se descubrieron *conceptos, propiedades y dimensiones* en los datos, mediante la segmentación y comparación de la información. En la codificación abierta se utilizaron 10 códigos deductivos, como, por ejemplo, los que designaban los tipos de riesgo o los tipos de acciones, con el fin de aplicar el marco conceptual del *Enfoque de Vías*. El resto de los códigos (140 aproximadamente) surgieron inductivamente.

Tras finalizar la codificación abierta se observó un alto grado de consenso en las respuestas dadas por los participantes del Delphi, lo cual se refleja en alto el enraizamiento que alcanzaron varios códigos. Además, se corroboró que la información obtenida estaba robustamente respaldada por la literatura sobre manejo y conservación de suelos.

Por lo tanto, se decidió no implementar una nueva ronda de consultas a los expertos, y con la literatura, complementar, ampliar y llenar los vacíos que surgieron de las entrevistas. Sin embargo, se decidió no agregar y codificar la documentación teórica en Atlas.ti®, para que el enraizamiento provenga pura y exclusivamente de las entrevistas. Tanto en este paso (codificación abierta), como en el siguiente (codificación axial), se recurrió a la literatura sobre manejo y conservación de suelos para complementar la información obtenida de las entrevistas.

La codificación axial se realizó con la asistencia de redes conceptuales o diagramas lógicos (es decir, modelos visuales) que relacionaron los códigos inductivos. Para cada riesgo se creó una red, donde se colocó al riesgo como el fenómeno central a abordar, a partir del cual se exploraron las causas, las condiciones intervinientes y las estrategias de control y respuesta

adaptativa. De esta forma, se fue dando inductivamente densidad²¹ a los códigos que luego resultaron en categorías. Las redes conceptuales resultante fueron revisadas por expertos en suelos consultados para tal fin.

Un aspecto importante del armado de las redes fue que se tuvieron en cuenta no solo las respuestas consensuadas por los expertos, sino también los puntos de vista divergentes. Dado que el marco teórico requiere explorar aquellas vías que desafían las generalizaciones, se consideró importante explorar los caminos abiertos por las respuestas atípicas.

Los diagramas visuales permitieron relacionar los distintos códigos entre sí, en torno al fenómeno central, los riesgos agro-edafológicos, e identificar categorías más abstractas. Strauss y Corbin (1990) prescriben cuatro tipos de categorías en torno al fenómeno central: las *condiciones causales* (factores que causaron el fenómeno central), *estrategias* (acciones tomadas en respuesta al fenómeno central), *condiciones contextuales e intervinientes* (factores situacionales amplios y específicos que influyen en las estrategias) y *consecuencias* (resultado del uso de las estrategias).

Finalmente, con las categorías identificadas en la codificación axial, se procedió a la codificación selectiva donde se especificaron proposiciones que conectan a las categorías surgidas del análisis con las propiedades dinámicas de *estabilidad, durabilidad, resiliencia y robustez* propuesto por el *Enfoque de Vías*.

²¹ En investigación cualitativa, la densidad hace referencia al número de vínculos que tiene el código con otros códigos.

CAPITULO 5: Funcionamiento actual de los sistemas y las trayectorias hacia la sostenibilidad

5.1 Introducción

El Departamento Maipú es un área que presenta sistemas productivos con distintitos grados de complejidad. Allí se pueden encontrar desde sistemas más complejos como los ganaderos-forestales, donde el productor interactúa con los árboles, distintos tipos de forrajes, el suelo y el manejo del ganado; hasta sistemas muy simplificados, como los sistemas agrícolas puros, especializados en unos pocos cultivos. No obstante, independientemente del nivel de complejidad, los usos que se le dieron a los ecosistemas a lo largo del tiempo fueron principalmente extractivos. Como se vio en el capítulo anterior, los bosques nativos se fueron convirtiendo para el uso agrícola, ganadero, silvopastoril, y para la producción de otros bienes como carbón, leña para combustible, materiales para la construcción. Por lo general, las prácticas no tuvieron en cuenta la regeneración del bosque, la conservación del hábitat de la biodiversidad y ni la conservación del suelo, lo cual resulta hoy en día en una dinámica que expone una alta vulnerabilidad de los agroecosistemas a los eventos climáticos extremos (y a los vaivenes del mercado y otros riesgos, aunque en este trabajo no se hayan abordado).

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación. En el apartado 5.2 se presentan los tipos de sistemas, cada uno con su forma de funcionamiento actual, lo cual termina de completar la descripción del contexto de producción. Luego, partiendo de esa base, en el apartado 5.4, se introducen las *vías* a la sostenibilidad que surgieron del proceso de recopilación de información y análisis a través del Delphi Fundamentado.

5.2 Diversidad y tipos de sistemas productivos del Departamento Maipú

Con la información recopilada en las entrevistas a informantes clave, fue posible identificar al menos cinco tipos de agroecosistemas desde el punto de vista funcional. Estos tipos fueron:

- 1) Sistema ganadero-forestal del Noreste
- 2) Sistema mixto pequeño
- 3) Sistema mixto mediano con tendencia a la ganadería

- 4) Sistemas mixto mediano con tendencia a la agricultura
- 5) Sistemas agrícolas grandes

Los nombres asignados a cada categoría fueron dados por los mismos informantes, y se mantuvo esa denominación para reflejar fielmente su perspectiva.

La Figura 5.1 muestran en un esquema conceptual los tipos de sistemas identificados. En el extremo derecho, se encuentran los cinco tipos que surgieron a partir de la combinación de las cuatro dimensiones (especialización, escala, uso del suelo y nivel de intensificación). Los nodos del centro representan los sub-sistemas encontrados a partir de la combinación de dos dimensiones: especialización con nivel de intensificación, para los sistemas ganaderos; y especialización con escala, para los sistemas agrícolas, de donde surgieron los sub-sistemas: a) sistemas ganadero-forestales no intensificados, b) sistemas ganadero-forestales con intensificación media, c) sistemas ganadero-forestales altamente intensificados, d) sistemas agrícola pequeño, e) sistemas agrícola mediano. Por otra parte, los sistemas silvopastoriles (SSP) fueron considerados como un sub-sistema dentro de los sistemas-ganaderos forestales con algún nivel de intensificación. La combinación de dos o más tipos de sub-sistemas formaron a cada uno de los sistemas *tipo* o modales.

De los datos surgieron también otros tipos de sistemas/actores presentes en el territorio. Se trata de los sistemas minifundistas, sistemas apícolas y las tierras comunitarias de Pueblos Originarios. Estos tres tipos de actores se ubican en el costado izquierdo de la Figura 5.1; la información recogida no permitió vincular en forma directa a estos actores con los sistemas que forman parte de la tipología. Se requiere proseguir con la recopilación de información para comprobar la ausencia o existencia de vinculación.

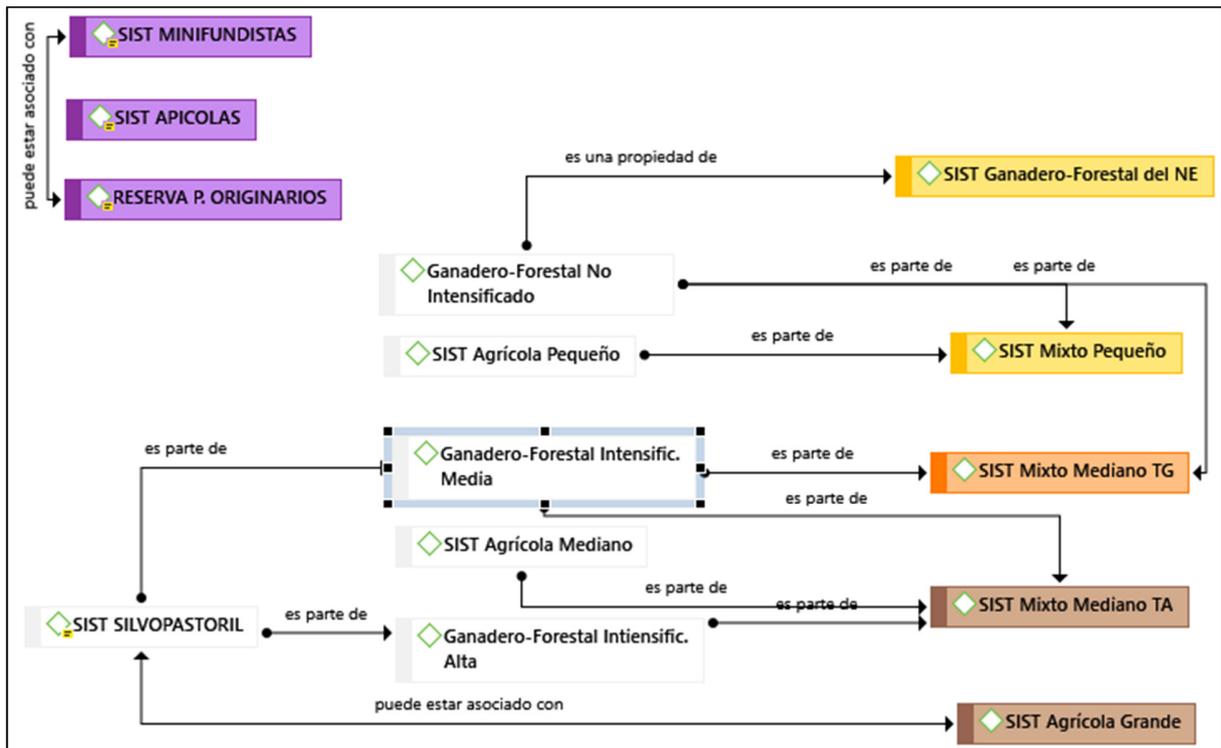
A continuación, se describe cada uno de los tipos de sistemas que conforman la tipología, ordenados por nivel de intensificación (de menor a mayor).

1) *Sistemas ganadero-forestales del Noreste*

Son sistemas localizados en los bajos, al NE del Departamento. Se trata de sistemas de alrededor de 500 ha, con una en cantidad relativamente pequeña de vientres en servicio, de entre 10 a 12 cabezas. La ganadería bovina se desarrolla en un espacio poco propicio, con suelos bajos, anegables, montes bajos raleados, por lo cual la capacidad de carga animal por hectárea resulta muy baja. La ganadería caprina es una actividad destinada sobre todo al

autoconsumo, y ocasionalmente, se destina al mercado. Los montes se encuentran bastante devastados, pero es fuerte la actividad forestal todavía, sobre todo en la extracción de madera para producción de leña y carbón.

Figura 5.1. Departamento Maipú. Diversidad y tipos de sistemas productivos



2) Sistemas mixtos pequeños

Las superficies de estos sistemas varían entre 25 ha a 200 ha. La actividad predominante es la ganadería de monte, el principal sustento económico de las familias. Se trata de la cría bovina extensiva a monte abierto en tierras fiscales o privadas. Esta ganadería se complementa con cría de ganado ovino, porcino y caprino con fines de subsistencia. El rodeo de cría está compuesto por, aproximadamente, veinte vientres vacunos con todo su plantel. En general, no se realiza ningún manejo pastoril; los bovinos y los caprinos pastorean libres el forraje que brinda el monte compuesto por gramíneas nativas, latifolias de sotobosque, especies arbustivas, hojas y frutos de especies arbóreas (Atanasio, M., entrevista personal 5

de junio 2020), con una baja capacidad de carga animal, por debajo de los 0,35 EV /ha. En algunos casos, para mejorar la oferta forrajera se siembra, sobre los caminos de extracción y los espacios abiertos que se generan con el aprovechamiento forestal de madera, una pastura gramínea perenne, el *gatton panic* (*Panicum maximun cv. Gatton*), de gran importancia en los sistemas ganaderos del NEA. En estos sistemas se dan prácticas de remoción de biomasa leñosa; con ella se produce carbón y leña, principalmente. Otro aprovechamiento frecuente del monte es la extracción de miel, con apiarios de entre 5 a 10 cajones instalados entre los palmares, los arboles de algarrobo y/o los garabatos.

Los lotes con aptitud agrícola, o son arrendados a otros productores que gestionan sistemas de mayor escala/superficie, o son ocupadas por cultivos. La siembra suele ser discontinua, habiendo años en que el suelo se deja en descanso. Los cultivos sembrados son el algodón y el maíz. Tienden a implantar un cultivo por año, porque la superficie es insuficiente para plantear una rotación de cultivos. Generalmente la siembra de algodón se ve habilitada por la provisión de semillas de algodón y gasoil para los laboreos por parte del Municipio de Tres Isletas o el Ministerio de la Producción de la Provincia. La mano de obra en estos sistemas productivos es netamente familiar, aunque en los períodos de mayor carga de trabajo se contratan trabajadores temporales, que por lo general son los mismos vecinos de la zona. Los sistemas con una superficie de hasta 50 ha que forman parte de un “Consortio²²” emplean su equipamientos para el laboreo de tierras para la producción agrícola, ganadera, la construcción de represas para reservorios de agua, desbosques, destronque y limpieza de terreno para ampliación de zonas de laboreo.

3) *Sistemas mixtos medianos con tendencia a la ganadería*

Son sistemas con superficies que oscilan entre 250 y 600 hectáreas, donde se realizan actividades agrícolas y ganaderas- forestales. La superficie se reparte, aproximadamente, en mitades iguales entre actividades agrícolas y ganaderas. Las actividades forestales se

²² Por Ley 6547 de la Provincia del Chaco se crearon en 2008 los Consorcios Productivos de Servicios Rurales, concebidos como entidades de bien público de servicios a la comunidad, sin fines de lucro, integrados por vecinos de una zona determinada, con el objeto de aunar esfuerzos y aportes económicos de distinta naturaleza para la ejecución de trabajos en predios rurales tendientes a posibilitar el laboreo de tierras para una más óptima producción rural (Valenzuela & Scavo, 2011).

desarrollan en interacción con las actividades ganaderas bajo un esquema de ganadería de monte, donde se dan prácticas de remoción de biomasa leñosa y siembra de pastura, con el fin de incrementar la producción de carne.

El sub-sistema ganadero

La ganadería se practica principalmente sobre campo natural conformado por el monte y por gramillares, siendo la actividad principal la cría de terneros. Dentro de esta categoría coexisten sistemas con distintos niveles de intensificación. Los más intensificados disponen de mayores recursos forrajeros, que no solo les permiten pasar la estación seca, el invierno, sino también incrementar la carga animal (cabezas/hectárea). A mayor disponibilidad de forraje, mayor es el nivel de carga animal que el sistema puede soportar sin tener un balance forrajero negativo. La ganadería bovina se complementa con cría de ovinos y porcinos, los cuales en parte se destinan al autoconsumo, y en parte a la venta.

Los sistemas menos intensificados, comparten las mismas características de los “Sistemas Mixtos Pequeños”. En estos tipos de sistemas la ganadería se da en la forma de pastoreo continuo sobre el campo natural en modalidades con poco manejo y planificación, en ocasiones con siembra de *Gatton panic* en los espacios abiertos por el aprovechamiento forestal. Con esta base forrajera, se puede manejar un rodeo de cría compuesto por 100 vientres en aproximadamente 300 ha, lo que equivale a una carga animal 0.37 EV/ha.

Los sistemas más intensificados complementan el campo natural con la implantación de pasturas perennes (Gramma Rhodes, Brachiaria) o anuales (Melilotus o avena); o con siembra de sorgo forrajero, lo cual permite incrementar la carga animal. En algunos casos la carga animal puede llegar a 0.80 EV/ha (200 vientres en 300 ha), entre pasturas implantadas y suplementación proteica con semillas de algodón.

En los sistemas con sub-sistemas ganaderos más intensificados coexisten el pastoreo continuo con el pastoreo rotativo de las pasturas implantadas. Los porcentajes de destete rondan entre 50% y 55%, en general. Sin embargo, los porcentajes de preñez suelen ser mayores en los sistemas donde la planificación forrajera, la sanidad y el manejo general del rodeo está más organizado.

Una alternativa de intensificación ganadera mencionada por los informantes fue la de “manejo silvopastoril”, en superficies de entre 7 a 10 ha. Los sistemas silvopastoriles (SSP)

son sistemas de uso de la tierra donde coexisten en la misma unidad productiva la ganadería y la actividad forestal, aprovechando las interacciones positivas y minimizando las negativas que se establecen entre los componentes animal, vegetal y suelo (Carranza & Ledesma, 2009). Son tres los elementos sobre los que el hombre puede actuar a nivel del manejo predial: la producción primaria (árboles y forrajes); la producción secundaria a través del manejo del ganado; y el suelo. El manejo de los sistemas silvopastoriles es más complejo que los ganaderos o forestales puros.

El manejo correcto de un SSP en bosque nativo requiere llevar a cabo prácticas silvícolas que incluye la limpieza del sotobosque, eliminación de ejemplares indeseables (árboles torcidos o enfermos), aprovechamiento de las especies en diámetro de corta, raleos y podas. Como resultado queda en pie un bosque con la suficiente cantidad de plantas que posibiliten la perpetuidad del monte nativo, a la vez que la apertura de la masa boscosa, favorece su crecimiento y regeneración, posibilitando un mayor desarrollo de las pasturas naturales y/o implantadas.

Sin embargo, los sistemas silvopastoriles a los que hicieron referencia los informantes son sistemas en los que se realizan prácticas de alta intensidad en remoción de biomasa leñosa, como una forma de desmonte selectivo, con siembra de especies forrajeras megatérmicas, como *Gatton panic*, con el fin de incrementar la producción fundamentalmente de carne bovina. Este tipo de uso altera significativamente la estructura del bosque, por dejar en pie árboles de las clases de tamaño mayores, no tiene en cuenta la reposición del estrato arbóreo ni la biodiversidad del ecosistema, y se suman prácticas que le dan mayor intensidad al tratamiento, como repasos de rolados, agroquímicos y fuego (Peri & Navall, 2022).

Sub-sistema agrícola (mediano)

Los planteos agrícolas incluyen principalmente a los cultivos de soja, maíz, girasol, y algodón, y en menor medida, sorgo, en reemplazo del maíz. La siembra de trigo en invierno es ocasional, dependiendo de la disponibilidad de agua en el perfil del suelo al momento de la siembra, y del precio relativo del trigo con respecto al girasol, ya que ambos cultivos compiten por el uso del suelo. En cuanto a rotaciones de cultivos las secuencias más frecuentes son Girasol/Maíz/Soja, Soja/Algodón y Soja/Girasol. Toda la producción se destina al mercado.

4) Sistemas mixtos medianos con tendencia a la agricultura

Son sistemas con superficies de entre 600 a 1.200 hectáreas, donde se realizan actividades agrícolas y ganaderas-forestales. La superficie del sistema se reparte, aproximadamente, en un 70% a la agricultura, generalmente en tierras arrendadas, y en un 30% a la ganadería sobre tierras propias. Este perfil de productor tiene una lógica en la toma de decisiones muy atada a los mercados de productos e insumos.

Sub-sistema ganadero

El sub-sistema ganadero está altamente intensificado. Suman recursos forrajeros que les permita sostener niveles de carga animal cercanos a 1 EV/ha (300 vientres en 300 ha, aproximadamente). En estos sistemas los porcentajes de preñez y de destete se ubican por encima de los obtenidos en los “sistemas mixtos con tendencia a la ganadería” (porcentajes de preñez de entre 70% y 80%, destete 70%) porque la lógica de manejo del sistema está plenamente centrada en la maximización de la productividad, además, como la actividad ganadera “compite” con la agricultura que es altamente rentable, debe cubrir el costo de oportunidad. Por lo tanto, se lleva una planificación de los recursos forrajeros buscando adecuar de la mejor manera posible los requerimientos del rodeo a la curva de producción de pastos. Los déficits invernales de forraje se cubren con siembras pasturas y verdeos, se confeccionan rollos y se suplementa la dieta de las vacas y vaquillas de reposición con ensilados de maíz o de sorgo (al disponer de todos los recursos para sembrar esos cultivos en su sub-sistema agrícola). También es frecuente el manejo “silvopastoril” de una porción del monte. Se ordenan los rodeos, se estacionan los servicios y se sigue un calendario sanitario para aumentar la productividad.

Sub-sistema agrícola (mediano)

Los planteos productivos agrícolas son los mismos que en los “sistema mixto mediano con tendencia ganadera”, pero se realizan en una superficie más grande, aproximadamente 800 hectáreas en promedio. Pueden diferir en que estos sistemas por lo general son más intensivos en el uso de insumos, pudiendo agregar fertilización en ciertos cultivos y semillas híbridas de mejor calidad. El destino de la producción son los mercados. Una parte de los suelos agrícolas se destinan a la siembra de pasturas, sorgo forrajero y a la siembra de maíz o sorgo para la confección de ensilados para la ganadería. Los laboreos del suelo generalmente se

hacen con herramientas y maquinas propias. La mano de obra es familiar con empleados temporarios y permanentes.

5) *Sistemas agrícolas grandes*

Son sistemas agrícolas de escala superior a las 1500 hectáreas, localizados en la zona Oeste del Departamento. A ellos se refirieron los participantes como “grandes administraciones” o “*pooles* de siembra”, ya que producen a gran escala sobre superficies arrendadas. Son sistemas muy simplificados, especializados en cultivo de soja y de maíz. Prácticamente no emplean mano de obra; todas las labores son mecanizadas y contratadas a terceros. Los planteos productivos incluyen un solo cultivo por año. Una vez cosechado el cultivo anual, el suelo queda en barbecho, por lo general químico, hasta el cultivo siguiente. Son sistemas muy intensificados en el uso de insumos, realizan todas las aplicaciones de control de plagas y de malezas, e incorporan fertilizantes a los cultivos. Algunos adoptan tecnologías de precisión. Utilizan materiales de alta calidad, sobre todo semillas híbridas de alta calidad y alto rendimiento.

6) *Otros tipos de sistemas*

Los *sistemas minifundistas* son sistemas de no más de dos hectáreas y media, localizados en el cinturón periurbano de la localidad de Tres Isletas, y en las Colonias próximas a esta localidad. Producen de aves de corral, cerdos y caprinos, hortalizas y cultivos de cementsera baja (cucurbitáceas, mandiocas), y el destino de la producción, casi en su totalidad, es para el autoabastecimiento de las familias.

Los *sistemas apícolas* son parte del aprovechamiento del monte nativo. Se trata de productores de miel que no poseen tierras e instalan sus apiarios en los predios de otros productores. Los sistemas apícolas de mayor tamaño, pueden llegar a tener hasta 500 colmenas funcionando en campos de terceros. Los productores de miel que los gestionan suelen tener otros medios de vida (son docentes o comerciantes).

Un sector del Departamento (zona conocida como “La Peligrosa”) está calificado como zona productora de miel orgánica, ya que se encuentra distanciada de los sectores donde se realizan aplicaciones de agroquímicos. En la Ciudad de Tres Isletas funciona la Cooperativa Apícola La Colmena Ltda. con 75 socios-productores activos que venden miel orgánica certificada.

La apicultura es una actividad que creció considerablemente en la zona en los últimos años, y la perspectiva es que se siga incrementando.

Comunidades de pueblos originarios. En el territorio existen tierras de propiedad comunitaria de pueblos originarios. Los territorios ocupados por indígenas pertenecen a dos reservas denominadas “Colonia El Tacuruzal” (decreto de creación 188/71), distante 15 kilómetros de la localidad de Tres Isletas, con dirección al Este, y “Raíz Chaqueña”, hacia el Noroeste (sobre los lotes 56 y 57).

Las comunidades originarias generalmente trabajan en la producción de sementera baja para autoconsumo, producción de ganadería menor (caprinos y porcinos), y producción de artesanías.

En suma, el Departamento Maipú es una zona agrícola y ganadera-forestal que se caracteriza por tener una gran diversidad de actores y de sistemas de producción. Predominan los sistemas mixtos de pequeña y mediana escala (de acuerdo a los entrevistados, estos en conjunto podrían representar al rededor del 85% de las EAP), sin embargo, hay una tendencia al desplazamiento de los pequeños productores y al aumento de los sistemas de mayor tamaño.

Los sistemas agrícolas descritos muestran uso intensivo y poca planificación del recurso suelo (ausencia de rotaciones de cultivos adecuadas, laboreo excesivo del suelo, uso de sistemas de labranza convencional, tránsito excesivo de máquinas) que desencadenan los problemas de erosión, pérdida de estructura, pérdida de materia orgánica, disminución de la infiltración, disminución en la capacidad de almacenamiento de agua, ascenso de sales, entre otros.

En los sistemas de ganadería de monte, con poco manejo y planificación, así como los desmontes selectivos para la siembra de pasturas megatérmicas, alteran la estructura del bosque por su efecto directo sobre la regeneración, la calidad del suelo y el funcionamiento del ecosistema (Peri & Navall, 2022). El pastoreo excesivo afecta negativamente el crecimiento de la vegetación y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Con la variabilidad climática creciente, estos efectos se refuerzan, sistemas pierden capacidad de respuesta y se vuelven más vulnerables. Por lo tanto, es conveniente explorar otras vías que encaminen a los sistemas hacia nuevas trayectorias en el mediano y largo plazo.

En el apartado siguiente se abordan nuevos caminos a la sostenibilidad enfocando el estudio principalmente en los sistemas mixtos medianos. La elección de este tipo de sistema se basó en su representatividad, y en el supuesto de que estos disponen de capacidad de maniobra para elegir que trayectoria seguir.

5.3 Nuevas vías a la sostenibilidad. Resultados del Delphi Fundamentado

5.3.1 Resultados de la codificación abierta

Durante la primera fase se leyeron los datos y se etiquetaron en consecuencia. No se escribieron memos en esta etapa, sino que el objetivo fue obtener una primera estructura del material para posteriormente hacer un análisis de los códigos resultantes. Como resultado se obtuvieron inicialmente 254 citas y 175 códigos, de los cuales 10 fueron códigos deductivos y los 165 restantes fueron códigos inductivos. Los códigos deductivos se utilizaron para etiquetar los tipos de acciones (3 códigos: control corto plazo; control largo plazo; respuesta adaptativa) y los tipos de riesgo (7 códigos: riesgo climático; encharcamiento; retención de humedad; erosión; condiciones físicas adversas, condiciones químicas adversas; riesgos combinados), mientras que los códigos inductivos se usaron para identificar los tipos de acciones dentro de cada categoría. En esta etapa las etiquetas aún no fueron coloreadas. Tan solo se obtuvo una lista simple de códigos y se los ordenó por su nivel de enraizamiento. En el contexto del análisis cualitativo, el *enraizamiento* mide la cantidad de citas de un texto que están vinculadas a un código. Como era de esperar, los códigos deductivos fueron los que presentaron mayor enraizamiento, ya que todas las citas fueron codificadas con al menos un código deductivo. De los códigos inductivos, los de mayor enraizamiento fueron los que se presentan en el Cuadro 5.1, lo cual fue dando pistas de las categorías a desarrollar en las etapas siguientes.

Cuadro 5.1 Resultados de la codificación abierta. Códigos inductivos de mayor enraizamiento

| Código | Enraizamiento |
|---|----------------------|
| ○ Cobertura del suelo | 47 |
| ○ Aumentar la materia orgánica del suelo | 32 |
| ○ Sistemas silvopastoriles | 22 |
| ○ Cultivos en contorno o curvas de nivel | 18 |
| ○ Cultivos de cobertura | 17 |
| ○ Cultivos con alto aporte de rastrojos | 15 |
| ○ Forestación con especies nativas | 15 |
| ○ Regular carga animal | 13 |
| ○ Fertilización - enmiendas orgánicas | 11 |
| ○ Implantar cortinas forestales | 11 |
| ○ Cultivar gramíneas | 10 |
| ○ Especies adaptadas al anegamiento | 10 |
| ○ Mejorar la infiltración | 10 |
| ○ Mejorar porosidad del suelo | 10 |
| ○ Rotación de agricultura con ganadería en tiempo y espacio | 10 |

Cabe mencionar que la codificación de la información no finalizó en este punto, sino que a lo largo de todas las etapas (codificación abierta, axial y selectiva) los códigos fueron cambiando mediante fusiones, divisiones y renombramientos. Sin embargo, una vez obtenida esta primera lista, se comenzó a preparar la codificación axial de los datos. Con el uso de las herramientas de análisis de Atlas.ti, más precisamente, los operadores booleanos, se combinaron los códigos de tipos de riesgos con los de tipos de acción y se generaron distintos informes. Cada informe proporcionó información sobre las acciones de control y las de respuesta adaptativas mencionadas por los participantes del Delphi, para abordar un riesgo específico. Al mismo tiempo, se comenzó el muestreo teórico, que, en este caso, consistió en textos que ayudaron a la interpretación de los datos, y entrevistas en profundidad adicionales a informantes clave.

Los informes de riesgo, más la nueva información incorporada fueron los insumos de la codificación axial.

5.3.2 Resultados de la codificación axial

El proceso de codificación axial se llevó a cabo creando una red conceptual para cada riesgo, donde se colocó al riesgo a abordar como el fenómeno central a partir del cual se exploraron las causas, las condiciones intervinientes y las estrategias de control y respuesta adaptativa.

En los anexos V a VIII se exponen los modelos visuales de las redes creadas, y en los apartados que siguen se describen coloquialmente los resultados.

1) *Riesgo de retención de humedad*

Para reducir el riesgo de retención de humedad los expertos coincidieron en que deben realizarse una serie de prácticas tendientes a cumplir cuatro objetivos que se retroalimentan entre sí: a) asegurar la cobertura del suelo, b) mejorar la estructura, c) incrementar la materia orgánica edáfica y d) evitar la erosión del suelo. Las medidas recomendadas para alcanzar estos objetivos fueron:

- *Implementar rotaciones de cultivos*

Las rotaciones de cultivos son sistemas en los que se cultivan diferentes cultivos secuencialmente en el mismo campo en temporadas o años alternos. El cambio de cultivos de forma recurrente según una secuencia planificada contrasta con el monocultivo continuo. Plantar tres o más cultivos diferentes antes de volver al cultivo original constituye una rotación a largo plazo (Blanco & Lal, 2010). Cuanto mayor sea el número de cultivos involucrados en una rotación, mayores serán los beneficios para la productividad del suelo y la diversidad de plantas. La rotación de cultivos es una de las estrategias más simples y deseables de conservación del suelo y el agua. De acuerdo a Ledesma (1979), las rotaciones de cultivos permiten controlar las pérdidas de suelo, mantener y/o mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo; mantener protegido el suelo en los períodos críticos del año cuando caen lluvias erosivas; posibilitar el mejor control de malezas, plagas y enfermedades; y lograr retornos económicos convenientes.

Las rotaciones de cultivos pueden incluir *cultivos de escarda*, *cultivos compactos* o *cultivos forrajeros*. Siguiendo a Ledesma (1979), los de *escarda* son cultivos para cosecha que se siembran en líneas distanciadas, y que requieren luego labores culturales. Son los que más favorecen las pérdidas de suelos. Entre ellos se encuentran: algodón, girasol, maíz, sorgo granífero, soja, cártamo. Los *compactos* son cultivos para cosecha que se siembran al voleo o en líneas poco distanciadas y no requieren labores culturales adicionales. Favorecen menos que los de escarda las pérdidas de suelos. Entre ellos se encuentran los cereales de grano fino como el trigo o la cebada. Las *forrajeras* son cultivos que se destinan a pastoreo, a corte para forraje verde (pastoreo mecánico) o para henificar o ensilar. Los más adaptados a la zona son

los sorgos forrajeros y el trébol de olor blanco (*Melilotus albus*). También avena, cebada, centeno. Los cultivos forrajeros bien manejados mejoran los suelos degradados.

Las secuencias de tipos de cultivos que se recomienda seguir en las rotaciones depende de la *capacidad de uso* de los suelos (ver apartado 4.2.4). Como se muestra en el Cuadro 5.2, los suelos de Clase II, admiten que se implantes tres cultivos de escarda seguidos, luego uno compacto, y después una forrajera, antes de volver a un cultivo de escarda. Los suelos de Clase III, con limitaciones y riesgos moderados, admiten dos cultivos de escarda continuos, luego un cultivo compacto, y después una forrajera, previo a reiniciar la rotación. Los suelos Clase IV, con limitantes y riesgo severos de degradación, no admiten más de un cultivo de escarda; seguidamente debe implantarse un cultivo compacto, y una o dos forrajeras, antes de volver nuevamente a un cultivo de escarda. En este punto cabe mencionar que la mayoría de los suelos Clase IV del Departamento Maipú están localizados en el área donde se amplía actualmente la frontera agropecuaria, habilitando tierras para la agricultura continua de cultivos de escarda (área coloreada de azul en el mapa del Anexo III).

Cuadro 5.2. Rotaciones de cultivos recomendadas para el Departamento Maipú, Chaco

| Suelos | | Secuencia de cultivos |
|------------------|---|--|
| Clase II | <i>E-E-E-C-F</i> | cada tres cultivos de escarda, debe seguir uno compacto y luego uno forrajero |
| Clase III | <i>E-E-C- F</i> | cada dos cultivos de escarda, debe seguir uno compacto y luego uno forrajero |
| Clase IV | <i>E - C - F,</i> <i>E - C - F - F</i> | por cada cultivo de escarda, uno compacto seguido de uno forrajero; o bien, por cada cultivo de escarda, uno compacto seguido de dos cultivos forrajeros. Si los suelos se encuentran severamente degradados deberían destinarse a uso ganadero únicamente. |

Referencias: *E=escarda; C=compactos; F=Forrajeras*

Fuente: Ledesma et al. (1979)

Volviendo a los resultados del Delphi, los expertos consideraron que, dado que el problema principal a resolver es retención del agua en el suelo, es suma importancia mantener la superficie permanentemente cubierta para evitar la evaporación del agua. Para ello, recomendaron planificar rotaciones de cultivos que incluyan especies que aporten abundante biomasa y generen una gran cantidad de residuos una vez cosechados, como las gramíneas (sorgo, maíz o trigo). Además, sugirieron limitar la participación de especies oleaginosas (girasol y/o soja) por su alto requerimiento de consumo de agua. La participación de oleaginosas en la rotación no debería superar el 50%, y menos aún debería incluirse la secuencia de ambos cultivos, a menos que se incluya un *cultivo de cobertura* entre los dos cultivos oleaginosos. Como una medida de adaptación, los informantes sugirieron el cultivo de algodón podría soportar los períodos de suelo seco, convirtiéndose en una opción viable de cultivo de renta, aunque su aporte de residuos es bastante reducido.

- *Manejo de residuos de cultivos*

Los residuos de los cultivos, comúnmente llamados “rastros”, son fundamentales para mejorar las propiedades hidráulicas del suelo, aumentar el almacenamiento de agua, moderar la temperatura del suelo, aumentar o mantener la materia orgánica del suelo y mejorar la fertilidad del suelo (Blanco & Lal, 2010).

El manejo de rastros consiste en tratar los restos vegetales que permanecen en el campo una vez cosechados los cultivos, de modo que queden regularmente distribuidos sobre la superficie, o semi-incorporados. El tratamiento dado a los rastros debe facilitar los procesos microbiológicos que ocasionan la descomposición de los restos orgánicos (Ledezma et al., 1979).

Los residuos en descomposición aumentan la resiliencia del suelo contra los efectos de compactación de la maquinaria agrícola, los atributos inherentes del suelo, como la actividad biológica y la macroporosidad, y con ella, la infiltración y la capacidad de retención de agua, y amortiguan la superficie del suelo contra la caída de gotas de lluvia y el viento.

- *Adoptar labranzas conservacionistas*

El tipo de labranza utilizada determina la proporción de residuos de cosecha (tallos, mazorcas, hojas, etc.) que permanecen en la superficie como cobertura. Los sistemas de labranza conservacionistas, entre ellos, la *labranza cero* (entre los que se encuentra la

siembra directa) y la *labranza mínima*, son los que dejan una mayor proporción de residuos superficiales después de la cosecha. Por lo tanto, para los informantes es fundamental su adopción. Un mayor porcentaje de rastrojos en el suelo aumenta la macroagregación y la porosidad total del suelo, lo cual permite capturar más agua de lluvia, al tiempo que el aumento de la materia orgánica del suelo mejora la capacidad del suelo para retener agua (Blanco & Lal, 2010). El contenido de agua disponible en la planta es mayor en los sistemas de rotación de labranza cero en comparación con los sistemas de monocultivo manejados convencionalmente.

- *Introducir cultivos de cobertura dentro del sistema*

Asimismo, señalaron que es muy recomendable adoptar cultivos de cobertura incluyendo, sobre todo, leguminosas forrajeras como la Alfalfa (*Medicago sativa*) o los tréboles del género *Melilotus*. Los cultivos de cobertura de leguminosas mejoran la fijación biológica de nitrógeno y el aporte de biomasa. Los *cultivos de cobertura* son un componente integral de los sistemas de cultivo que se utilizan para conservar el suelo y el agua. Protegen el suelo contra la erosión, mejoran la estructura y aumentan la fertilidad del suelo. Generalmente se siembran entre dos cultivos de verano (soja, algodón, maíz, sorgo, girasol), y a diferencia de estos, no se cosechan, ni se incorporan al suelo, ni se pastorean, sino que se secan y se dejan en la superficie como cobertura del suelo. Blanco y Lal (2010) argumentan que cuando se usa sinérgicamente la rotación de cultivos junto con los cultivos de cobertura, se reduce la incidencia de insectos, malezas y enfermedades, mejora la productividad del suelo, se reduce la evaporación del agua, se incrementan la biodiversidad, acentuándose la sostenibilidad y la rentabilidad.

- *Fertilizar el suelo con enmiendas orgánicas*

Para aumentar la materia orgánica del suelo, y atenuar el riesgo de formación de costras superficiales o la densificación de las capas sub-superficiales, los expertos recomendaron también la incorporación de fertilizantes y enmiendas orgánicas (estiércol, cascarilla de algodón, arroz, etc.) para acelerar el proceso de aumento de biomasa aérea y radical, incrementando también el rendimiento en granos de los cultivos.

Finalmente, consideraron importante minimizar el tránsito de maquinarias para evitar la compactación del suelo. Si el suelo ya se encuentra compactado, recomendaron descompactar

mecánicamente practicando una labranza profunda (*subsolado*), y luego implementar las medidas antes mencionadas.

- *Manejo del pastoreo bovino*

Los expertos recomendaron pastorear campos naturales con intensidad tal que se mantenga una cubierta vegetal adecuada, para proteger los suelos y conservar o mejorar la cantidad y calidad de la vegetación. Para ello, sugirieron implementar un sistema de *pastoreo controlado y rotativo*, y prever la provisión de forrajes ensilados o en fardos para los períodos de sequías.

El *pastoreo controlado* consiste en controlar la *intensidad del pastoreo*, es decir, la carga animal (cantidad de cabezas por hectárea), para permitir el rebrote y la resiembra natural del pasto; en tanto que el *pastoreo rotativo* consiste en dejar uno o más sectores del campo sin carga animal durante la estación de crecimiento de las plantas claves; además implica que ninguna unidad se pastoree en la misma época en años sucesivos.

De esta forma, se evita el pastoreo excesivo, o *sobrepastoreo*, que afecta negativamente el crecimiento de la vegetación y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El pisoteo frecuente o el tránsito de animales afloja, homogeneiza y pulveriza la superficie del suelo, degradando las propiedades del suelo cerca de la superficie. El pisoteo aumenta la densidad aparente del suelo y reduce la macroporosidad, la tasa de infiltración de agua, la conductividad hidráulica, la aireación y el drenaje (Blanco & Lal, 2010).

- *Implantar pasturas permanentes*

Los informantes sugirieron también implantar pasturas permanentes con buena calidad forrajera, incluyendo especies resistentes al estrés hídrico. De acuerdo a Blanco y Lal (2010), el cultivo de pastos reduce la escorrentía y la erosión del suelo mediante dos mecanismos interrelacionados, que son la protección de la superficie del suelo por la cubierta vegetal y la estabilización de la matriz del suelo. Las pasturas y pastizales bien manejados que tienen rodales densos, hojarasca superficial gruesa y una red abundante de raíces fibrosas pueden reducir las salpicaduras al impactar las gotas de lluvia, aumentar la infiltración de lluvia y, por lo tanto, reducir la escorrentía y la erosión del suelo.

- *Incluir cultivos forrajeros dentro de las rotaciones de cultivos*

Una de las respuestas más enfatizada por los expertos fue la de incluir cultivos forrajeros en las rotaciones de cultivos en aquellos suelos agrícolas que presenten algún estado un estado de degradación. De acuerdo a Ledesma (1979) los cultivos forrajeros reconstituyen el suelo, mientras que los cultivos de renta los degradan, por lo tanto, es muy recomendable rotar entre tipos de cultivos. Blanco y Lal (2010) argumentan que las rotaciones que incluyen una gran cantidad de biomasa aérea y subterránea que rotan forrajes y cultivos reducen el peligro de erosión del suelo. El cultivo de cereales y leguminosas alternado con cultivos forrajeros proporciona una cubierta vegetal densa y permanente que estabiliza el suelo debajo, reduce la densidad aparente, aumenta la macroagregación del suelo, mejora la porosidad, y con ello la infiltración. Los cultivos forrajeros más adaptados al área de estudio son los sorgos forrajeros y los tréboles del género *Melilotus* (Ledesma et al., 1979).

Si el establecimiento tiene una orientación agrícola, uno de los informantes sugirió que las pasturas podrían destinarse a la *henificación*²³, lo cual permitiría diversificar los ingresos monetarios de la finca. Otra alternativa consiste en convertir el sistema agrícola en un sistema mixto integrado. Desde el punto de vista del suelo, esta opción puede ser más deseable, ya que eliminar el forraje de la tierra (es decir, heno y ensilaje) elimina los nutrientes y reduce los beneficios de rotación de la pradera, como lo indican Entz et al. (2005). Tal separación de forraje y ganado puede reducir la calidad del suelo en los sitios de producción de forraje y acumular los nutrientes del estiércol en el sitio donde se produce ganado. En cambio, la integración de los sistemas agrícolas y ganaderos pueden mejorar el reciclaje de nutrientes, especialmente si se cultivan leguminosas que adicionan Nitrógeno al suelo, junto con las deyecciones de los animales (Entz et al., 2005). La integración de forrajeras a la rotación también puede mejorar el carbono orgánico del suelo, lo cual brinda múltiples beneficios colaterales, como mejorar la porosidad del suelo, la infiltración y retención del agua.

- *Manejar la escorrentía*

Según lo aportado por los informantes, el riesgo de retención de humedad puede abordarse también controlando el escurrimiento del agua de lluvia o *escorrentía*, lo cual mejora la infiltración del agua en el sitio en el que cae. Como se expone más adelante, en el apartado

²³ El proceso de henificación convierte un forraje verde y perecedero en un producto que puede ser almacenado en forma segura (en forma de fardos o rollos) y transportado fácilmente sin riesgo de deteriorarse; al mismo tiempo, las pérdidas de materia seca y nutrientes se limitan a un mínimo (Suttie, 2003).

de riesgo de erosión, las prácticas de sistematización del suelo sirven para tal fin. Una de estas prácticas, la sistematización del suelo mediante *curvas de nivel*, fue la recomendada para este caso en suelos (secuencias A-C) cuya textura tiene predominio de arenas. Las *curvas de nivel* son líneas trazadas en el terreno, que unen puntos de igual altura sobre el nivel del mar. La técnica de cultivos en curvas de nivel es aquella en la cual las operaciones de labranza y siembra se realizan siguiendo esa línea. El efecto de la práctica sobre la escorrentía es la de cortar la pendiente de forma tal que cada surco o cada planta represente un obstáculo al avance del agua, aumentando la retención y el detenimiento superficial. Al disminuir la tasa de escorrentía aumenta la tasa infiltración, y con ello, la humedad retenida por el suelo.

Alternativamente, los expertos sugirieron cultivar de forma perpendicular a la pendiente principal del terreno, lo cual, al igual que las curvas de nivel, acorta la pendiente, ralentiza la escorrentía y permite una mayor tasa de infiltración del agua de lluvia. Esta práctica consiste en trazar una línea perpendicular a la pendiente principal de un lote, a fin de que sirva como línea base para la siembra de cultivos (línea guía). Esta técnica es sencilla de implementar, y puede aplicarse a cualquier sistema de producción ya que sólo implica la orientación de las líneas de siembra, tanto de cultivos como de pasturas (MyCS IF, 2018).

- *Implementar sistemas agroforestales*

Asimismo, dentro de las medidas de respuestas adaptativas los expertos sugirieron incluir árboles dentro de los sistemas de producción.

Los *sistemas agroforestales* son sistemas de manejo de la tierra que combinan árboles y / o arbustos con cultivos agrícolas y producción ganadera en la misma parcela de tierra. Las prácticas agroforestales originalmente se pensaron para la conservación del suelo y el agua, pero cada vez más se utilizan para reducir la contaminación del agua de fuentes difusas. De acuerdo a la literatura consultada (Blanco & Lal, 2010; Peri et al., 2021; Sharry et al., 2022) los *sistemas agroforestales* tienen múltiples ventajas, entre ellas, permiten diversificar la producción; mejoran el hábitat de la vida silvestre, mejoran el paisaje en zonas rurales; permiten mitigar los cambios proyectados en el clima global a través del secuestro de C y la reducción de las emisiones netas de gases de efecto invernadero a la atmósfera; contribuyen a garantizar la seguridad alimentaria. Los árboles y arbustos en la agrosilvicultura no solo

mejoran la productividad de los sistemas agrícolas y ganaderos asociados, sino que también proporcionan productos maderables y no maderables como alimentos, frutas, fibras y medicinas, lo que favorece la economía del cultivo de árboles (Blanco & Lal, 2010).

Siguiendo a Fahad et al. (2022) los sistemas basados en árboles pueden mantener altas tasas de infiltración y pueden mejorar las funciones hidrológicas del suelo al proporcionar una cubierta dada por las copas. La cubierta del dosel, junto con la vegetación del sotobosque y la hojarasca está fuertemente relacionada con la salud de la cuenca, al limitar la escorrentía superficial, reducir los impactos de las salpicaduras en el suelo y mejorar la infiltración. Asimismo, los autores argumentan que los canales biogénicos formados por raíces de árboles viejos, lombrices de tierra y otros ingenieros del suelo dan como resultado macroporosidad, que es necesaria para la infiltración. Por lo tanto, los sistemas agroforestales tienen tasas de infiltración un 75 % más altas y tasas de escorrentía un 57 % más bajas en comparación con los monocultivos. El sistema radicular diverso y cerrado distribuido en el suelo agroforestal forma más residuos de raíces recalcitrantes que se descomponen lentamente, lo que aumenta la acumulación de carbono orgánico en el suelo y conduce a la formación y conservación de poros de transmisión del suelo con una mejor infiltración.

Yendo a los resultados del Delphi, los expertos sugirieron en el caso de este tipo de riesgo implementar sistemas agroforestales en forma de *sistemas silvopastoriles* y de *cortinas rompevientos*²⁴.

- Implementar sistemas silvopastoriles en bosque nativo

Como ya se mencionó en la descripción de los sistemas productivos del Departamento Maipú, en el apartado 5.2, el silvopastoril es un sistema agroforestal que integra árboles y arbustos con ganadería. En teoría es un sistema multipropósito donde los árboles se combinan de manera deliberada y ordenada con pasturas y ganado, donde los tres sistemas se

²⁴ De acuerdo a Blanco y Lal (2010), las numerosas formas en que se pueden llevar a la práctica los sistemas agroforestales, se pueden agrupar en cinco tipos: cultivos en callejones; agroforestería; sistemas silvopastoriles; amortiguadores de bosque ribereño; y cortinas rompimientos.

complementan dentro de un mismo sistema integrado. El objetivo del manejo es, tanto la producción forestal como ganadera.

Sin embargo, los sistemas silvopastoriles actualmente aplicados en la Región Chaqueña no están orientados al uso múltiple del bosque, sino exclusivamente a la producción pecuaria. Grulke et al. (2007) y Navall et al. (2016) afirman que en la realidad de la región chaqueña, el manejo silvopastoril es un manejo ganadero, donde se produce una drástica reducción de la cobertura boscosa para aumentar la producción de pastos, y donde el uso de la madera (y con ello el manejo del bosque restante) tiene poca, o incluso ninguna, importancia. Bajo un sistema silvopastoril bien manejado se llevan a cabo prácticas silvícolas que incluye la limpieza del sotobosque, eliminación de ejemplares indeseables, aprovechamiento de las especies en diámetro de corta, raleos y podas. Como resultado queda en pie un bosque con la suficiente cantidad de plantas que posibiliten la perpetuidad del bosque nativo, a la vez que la apertura de la masa boscosa, favorece su crecimiento y regeneración, posibilitando un mayor desarrollo de las pasturas naturales y/o implantadas.

Bajo un manejo integrado en tiempo y espacio de los distintos componentes de un sistema silvopastoril, se generan interacciones ambientales, económicas y sociales que permiten la continuidad del sistema en el tiempo (sostenibilidad socio-ecológica).

- *Cortinas rompevientos*

Las cortinas rompevientos son barreras constituidas por una o varias hileras de árboles, establecidas con varios objetivos: reducir la velocidad del viento en parcelas con fines agropecuarios, reducir el movimiento del suelo y protegerlo de los procesos erosivos; conservar la humedad del suelo; reducir la acción mecánica del viento sobre el cultivo, proteger la fauna silvestre, regular las condiciones del microclima, incrementar la belleza natural de un área y proteger cultivos y animales, incluso donde la agricultura es intensiva (Sharry, 2022). Esta práctica de acción adaptativa fue sugerida tanto para sistemas agrícolas, como para ganaderos o mixtos.

● *Adoptar un enfoque agroecológico*

La sugerencia de cambiar de paradigma de gestión hacia la agroecología también estuvo presente entre las respuestas. Por ejemplo, se recomendó:

"En planteos con producción de cucurbitáceas se puede plantear un diseño agroecológico que incluya árboles frutales y otros cultivos en franjas que generen sombra y cobertura." 4:22 ¶ 45 en 5. Experto 5

"lo ideal sería reconvertir el sistema adoptando un sistema agroecológico para la actividad agrícola con una muy buena planificación de las rotaciones de cultivos, dejando un prolongado tiempo de barbecho con un manejo de los residuos de cosecha que permitan dejar cubierto el suelo la mayor cantidad de tiempo posible" 12:15 ¶ 48 en 13. Experto 13

La agroecología es una disciplina científica que estudia y entiende a la agricultura desde una perspectiva ecológica. Altieri y Nicholls (2000) la definen como un marco teórico cuyo fin es analizar los procesos agrícolas de manera más amplia, los ecosistemas agrícolas como las unidades fundamentales de estudio. Bajo este marco los ciclos minerales, las transformaciones de la energía, los procesos biológicos y las relaciones socioeconómicas son investigados y analizados como un todo. El objetivo es proporcionar un medio ambiente balanceado, rendimiento y fertilidad del suelo sostenidos en el tiempo, junto con el control natural de plagas. Para ello se diseñan agroecosistemas diversificados y se emplean tecnologías auto-sostenidas.

Algunas de las practicas mencionadas por los expertos durante el Delphi, que ya son parte de manejos agrícolas convencionales, son también componentes de sistemas agroecológicos, como, por ejemplo, las rotaciones de cultivos, técnicas de conservación y labranza de suelo, sistemas de producción animal con pastoreos rotativos, diversificación de cultivos, sistemas agroforestales.

La diferencia estriba en que las estrategias de la agroecología se apoyan en complementariedades y sinergias que surgen al combinar cultivos, árboles y animales en diferentes arreglos espaciales y temporales, dando como resultado un óptimo ciclaje de nutrientes y materia orgánica, flujos cerrados de energía, poblaciones balanceadas de plagas y un uso múltiple del suelo y del paisaje. De acuerdo a Altieri y Nicholls (2013; 2000), muchos sistemas agrícolas agroecológicos desarrollados por productores son altamente productivos. Las características comunes a todos ellos son: la mayor diversidad de cultivos, el uso de rotaciones con leguminosas, la integración de producción animal y vegetal, el

reciclaje y uso de residuos de cosecha y estiércol, y el uso reducido de productos químicos sintéticos.

Aplicando un enfoque agroecológico se asegura la materia orgánica y la cobertura del suelo, lo cual mejora la capacidad de retención de agua del suelo y aumenta la resiliencia del suelo y del sistema general ante el estrés hídrico (Altieri & Nicholls, 2013). En ese sentido, implementar un paradigma agroecológico es una forma efectiva de abordar no solo el riesgo de retención de humedad sino todas las presiones de largo plazo que afectan al suelo.

2) *Riesgo de encharcamiento*

Para abordar el riesgo de encharcamiento, los informantes argumentaron que las acciones deberían apuntar a aumentar el contenido de materia orgánica, a mejorar la infiltración y a evitar la erosión del suelo, para que las partículas de suelo no colmaten los desagües. Para ello sugirieron las siguientes acciones:

● *Adoptar agricultura de conservación*

Las técnicas básicas de conservación del suelo y agua consisten en las ya mencionadas rotaciones *de cultivos*, *labranza cero* o *labranza mínima*, el manejo de los *residuos de cultivos*, e implementar *cultivos de cobertura*.

Con respecto a las rotaciones, recomendaron planificar adecuadamente la sucesión de cultivos con el objetivo de incorporar materia orgánica y mantener la cobertura de suelo y poroso. Las rotaciones de cultivos deberían incluir al menos un 50% de gramíneas, para asegurar un alto aporte de biomasa como cobertura, e idealmente incluir especies con sistemas radiculares agresivos y profundos, con mayor capacidad de penetración que rompan las capas compactadas del suelo. Como *cultivos de cobertura*, recomendaron especies con capacidad de genera una mayor cantidad de macroporos en el suelo, como, por ejemplo, *tréboles del genero Melilotus*, *nabos* o *gramíneas*. Estos, además de generar canales de infiltración en el suelo, también aportan cobertura de la superficie, disminuyendo el riesgo de encharcamiento en los años húmedos.

● *Fertilización con enmiendas orgánicas*

Asimismo, sugirieron el uso de enmiendas orgánicas para mejorar el contenido de materia orgánica del suelo. La materia orgánica edáfica diluye la densidad de los agregados, aumenta

la macroporosidad, suministra agentes cementantes y aglutinantes, generando agregados estables (Blanco & Lal, 2010).

- *Adaptar fechas de siembra*

Otra acción de control recomendada fue adaptar las fechas de siembra de los cultivos de manera que las fechas de siembra y cosecha de los cultivos no coincidan con los períodos de mayor precipitación.

- *Incluir cultivos forrajeros en las rotaciones*

Si el estado del suelo se encuentra muy comprometido, se recomendó incluir cultivos forrajeros en las rotaciones de cultivos, y rotar actividades agrícolas con actividades ganaderas. Algunas de las expresiones de los informantes sobre la implementación de estas prácticas para abordar el riesgo de encharcamiento fueron:

"Hoy está demostrado que, si en los lotes agrícolas intercalamos en su rotación pasturas perennes, mejoramos mucho más todos los indicadores de la salud del suelo, principalmente los físicos y biológicos, y la infiltración es uno de ellos" [2:6 ¶ 32 en 1. Experto 1](#)

"Agrícola-ganadero: es la mejor opción para el recurso suelo y tener en cuenta las consideraciones antes enunciadas en ambos casos." [11:4 ¶ 35 en 12. Experto 12](#)

Dentro de esta alternativa, algunos especialistas sugirieron dar mayor permanencia a la ganadería:

"Implementar sistemas agrícolas ganaderos, con mayor años de ganadería que agricultura, implementando las medidas de corto plazo" [11:5 ¶ 39 en 12. Experto 12](#)

Blanco y Lal (2010) argumentan que las rotaciones que incluyen cultivos de enraizamiento profundo y fijadores de N como la alfalfa, el trébol y el girasol son alternativas viables para manejar suelos compactados por monocultivos.

- *Destinar los sectores bajos solo al uso ganadero*

Si existen sectores bajos dentro de las parcelas agrícolas que por su ubicación en el relieve dificultan la confección de zanjas de desagüe, y que puedan ser delimitados y separados, se deberían convertir a ganadería e implantarlos con especies forrajeras perennes adaptadas al anegamiento (por ejemplo, *pasto tangola*, gramínea del género de las *Brachiarias*).

- *Implantar pasturas permanentes*

Si el riesgo de encharcamiento se presenta en suelos ganaderos, los expertos sugirieron mantenerlos cubiertos con pasturas permanentes. Sembrar gramíneas, especialmente pasturas adaptadas al exceso hídrico; además, sembrar cultivo de alfalfa, por sus raíces abundantes y profundas para mejorar la infiltración del agua en el suelo, o bien sembrar gramíneas y leguminosas de manera consociada. En años secos y sin riesgos de excesos hídricos, implantar forrajeras, por ejemplo, tréboles de la especie *Melilotus* para que a través de la profundidad de sus raíces generen canales de infiltración en el suelo, además de cobertura para reducir el encharcamiento en años húmedos.

Adicionalmente, controlar el crecimiento de malezas o especies indeseables para aumentar la receptividad del campo.

- *Manejo del pastoreo*

Implementar un sistema de pastoreo rotativo, con el fin de evitar el sobrepastoreo y mantener la superficie del suelo cubierto. Además, implementar un pastoreo controlado, regulando la carga animal (cantidad de animales por hectárea) para ajustarla a la oferta forrajera y al grado de humedad de los suelos. En períodos en los que el suelo se encuentra encharcado, retirar la hacienda de los lotes para evitar que el pisoteo de los animales provoque la compactación del suelo (lo cual requiere una planificación que permita tener donde llevar el ganado en épocas de lluvias). Las áreas con riesgo de encharcamiento deberían tener un manejo con baja carga animal.

- *Controlar la compactación por maquinaria*

Asimismo, se consideró importante minimizar el tránsito de maquinarias para evitar la compactación del suelo, y para dejarlo aireado y poroso, mejorando su densidad aparente. Si el suelo se encuentra ya densificado, recomendaron realizar laboreo superficial para remover costras, o sub-superficial para fragmentar las capas compactadas, teniendo la precaución de realizar estas prácticas con una humedad adecuada en el suelo para no agravar la densificación.

Manejo de la escorrentía

Los expertos coincidieron en que el manejo del escurrimiento del agua de lluvia debe planificarse tanto a nivel predial como a nivel de cuenca

➤ *A nivel predial*

Manejar la escorrentía a nivel predial, por ejemplo, generando una franja de mitigación del escurrimiento en el área alta del campo, tanto con gramíneas como con algún tipo de labranza con rastra o cincel que genere rugosidad, aumente la infiltración y frene el escurrimiento, impidiendo que el agua se acumule en la zona más baja.

Si el relieve lo permite, realizar drenajes superficiales siguiendo las pendientes naturales del terreno para evacuar más rápidamente los excesos de agua de los charcos y las zonas más bajas.

Además, recomendaron cultivar de cortando la pendiente principal del terreno, lo cual contribuye a disminuir el escurrimiento del agua.

Los expertos indicaron que en que a largo plazo es importante contar con un sistema de desagüe del campo, y sistematizar los suelos con *curvas de nivel* o *terrazas* para evitar que la erosión del suelo y que las partículas de suelo sueltas no colmaten los desagües. Los cultivos en terrazas consisten en una serie de áreas planas, semejantes a bancos o escaleras, que convierten una pendiente escarpada en planos casi horizontales (terrapién), separados por paredones (talud), generalmente estabilizados con piedra. En las terrazas de banco se modifica tanto la longitud, como el gradiente de las pendientes, ya que se genera una superficie plana. Sin embargo, su uso es está indicado para áreas donde las pendientes son superiores al 20 % (Blanco & Lal, 2010), no siendo este el caso del relieve en el Departamento Maipú.

➤ *Planificación y manejo a nivel de cuenca*

La planificación y organización del manejo hídrico a nivel de cuenca fue otra de las respuestas consensuadas. Los expertos argumentaron que, independientemente de que el encharcamiento se produzca por precipitación o por escorrentías, las acciones deberían tender a una solución global, que abarque a todos los actores/productores dentro de una cuenca. Algunas ideas en torno a esta medida de adaptación se pueden sintetizar en las siguientes expresiones realizadas por uno de los informantes:

"Crear un área o distrito de conservación de suelos, trabajando a nivel de cuencas agrupando a los productores para la realización de las obras que tiendan a dar una

solución integral al problema del encharcamiento. Los excesos de agua no deben perderse, sino que deben infiltrarse en el suelo, porque se sabe que las inundaciones y las sequías son dos fases de un mismo problema." 12:6 ¶ 34 en 13. Experto 13

"Se deberán realizar forestaciones en las partes altas de la cuenca que incidirían directamente sobre la disminución de la napa freática del suelo y favoreciendo la infiltración del agua de lluvia captada por los árboles" 12:7 ¶ 35 en 13. Experto 13

"en las partes medias y bajas de los lotes emplear un subsolador. El exceso de precipitaciones que no pueda ser infiltrada en el suelo, debería ser conducida a represas, a través de canales construidos al efecto como reservorios para las épocas de sequías." 12:8 ¶ 35 en 13. Experto 13

El manejo hídrico a nivel de cuenca fue reconocido como necesario no solo para administrar los déficits y excesos hídricos, sino también para abordar la problemática de los canales y desvíos de cursos de agua clandestinos, que realizan algunos productores en detrimento de otros: *"que el vecino considere hacia donde desvía el agua"* 7:3 ¶ 3 en 8. Experto 8. Este tipo de prácticas es común en el domo central agrícola del Chaco, provocando faltante de agua en determinadas zonas en períodos de déficit hídrico, y agravando las inundaciones en períodos de excesos.

- *Implementar sistemas agroforestales*

Para afrontar el riesgo de encharcamiento de una manera adaptativa, se sugirieron tres modalidades de sistemas agroforestales: a) agroforestería, diversificando la producción con la inserción de árboles y arbustos junto con cultivos; b) implantación de masas boscosas para manejo silvopastoril del sistema; c) cortinas rompevientos estratégicas, con especies adaptadas, que actúen consumiendo el exceso de agua, y acortando los periodos de encharcamiento.

La inserción de árboles dentro de los sistemas mejora el drenaje en suelos mal drenados; los árboles tienen habilidades inherentes para mejorar la infiltración de agua y reducir el volumen de escorrentía (Blanco & Lal, 2010). La combinación de árboles y arbustos con cultivos tradicionales es un enfoque biológico y ecológico para detener la erosión hídrica y eólica. Este sistema es una alternativa a las costosas estructuras de control de la erosión del suelo como son las terrazas.

3) *Riesgo de erosión*

- *Adoptar agricultura de conservación*

Para controlar los riesgos de erosión hídrica y eólica, los expertos recomendaron las mismas acciones de control que para controlar riesgo de retención de humedad y de encharcamiento. Esto es, implementar rotaciones de cultivos, labranza cero o labranza mínima, y cultivos de cobertura. Con relación a las rotaciones de cultivos, en este caso, recomendaron aumentar la participación de cultivos densos o compactos (por ejemplo, trigo, avena y sorgo), y disminuir la proporción de cultivos poco densos como maíz y girasol. Además, sugirieron sembrar cultivos de cobertura antes de la siembra de maíz y/o de soja o inmediatamente después de su cosecha, con el fin de evitar que el viento y/o el agua de lluvia arrastre los residuos de cosecha ya que quedan triturados y sueltos.

- *Manejo del pastoreo*

Las recomendaciones de manejo del pastoreo en este caso apuntan fundamentalmente, evitar el sobrepastoreo de la cubierta vegetal. Para ello, nuevamente recomendaron el manejo del pastoreo mediante un sistema rotativo para evitar pastorear en exceso la cobertura herbácea y permitir el rebrote de los pastos e implementar un pastoreo controlando regulando la carga animal, para prevenir la compactación del suelo por pisoteo. El pisoteo o acción de los cascos de los animales provoca el desplazamiento lateral del suelo, contribuyendo a una erosión severa. Blanco y Lal (2010) argumentan el pastoreo excesivo o sobrepastoreo aumenta la escorrentía y la pérdida de suelo, ya que elimina la biomasa y reduce la cubierta vegetal; al quedar el suelo desnudo, aumenta el impacto directo de las gotas de lluvia y se acentúa el desprendimiento de suelo, las salpicaduras y el transporte de suelo. Además, se frena el desarrollo de raíces. El sistema de raíces es tan importante como la biomasa aérea ya que este mantiene al suelo en su lugar, por lo tanto, las raíces juegan un papel importante en la reducción de la erosión del suelo.

- *Implantar pasturas permanentes*

La escorrentía, la erosión del suelo y la compactación aumentan en proporción directa a la reducción de la cubierta vegetal. Por ello, los expertos recomendaron implantar pasturas permanentes de buena calidad forrajera, y mantener algunos lotes con pasturas naturales que sirvan como potreros de descanso. Además, mantener los lotes libres de especies leñosas

invasoras (*tuscas, aromos, chilcas, etc.*), para favorecer la proliferación de forrajes de alto valor y que no disminuya la receptividad ganadera de los potreros, realizando un manejo con desmalezadoras, que cumplen la doble función de limpiar el lote e incorporar materia orgánica a través de la broza que queda después de los cortes.

- *Manejo del suelo de acuerdo al relieve*

Para afrontar el riesgo de erosión hídrica, los expertos enfatizaron la necesidad de planificar las estrategias de manejo del suelo de acuerdo a la forma del relieve, mediante prácticas estructurales o de sistematización. Estas son un conjunto de técnicas que abarcan desde la simple ordenación de las líneas de cultivo, hasta practicas muy complejas como la nivelación completa de terrenos muy inclinados, con fines de implementar el uso agrícola (MyCS IF, 2018).

Siguiendo el Documento de MyCS IF, las técnicas de manejo del relieve se basan en diferentes principios del ordenamiento hidrológico:

- Acortar la longitud y el grado de la pendiente, de modo de reducir el volumen y la velocidad del escurrimiento, o directamente de detenerlo;
- Generar microrelieves superficiales que permiten incrementar la retención y el detenimiento superficial del agua en superficie y de ese modo mejorar la captación del agua en el lugar donde cae;
- Atrapar los sedimentos que se mueven con el escurrimiento, por el efecto de “filtro” que pueden tener los cultivos siguiendo líneas en contorno
- Conducir controladamente los escurrimientos que no pudieron ser manejados por otras técnicas, a lugares predeterminados, sin que causen erosión

Siguiendo estos principios, los expertos en el Delphi sugirieron las siguientes prácticas dirigidas al control del escurrimiento: *cultivos en franjas, cultivos en contorno o en curvas de nivel, y cultivar cortando la pendiente.*

El sistema de *cultivo en franjas* consiste en sembrar los cultivos en franjas alternas de cultivos de renta con forrajeras. Esta práctica es eficaz para reducir la erosión porque rompe los paisajes inclinados en amplios segmentos, donde la cubierta vegetal diversa intercepta la escorrentía y promueve la infiltración del agua (Blanco & Lal, 2010). Los cultivos en franjas

también se pueden utilizar en terrenos planos para reducir la erosión eólica. De acuerdo a Blanco y Lal (2010) los riesgos de erosión hídrica y eólica aumentan con el aumento del ancho de las franjas.

La *agricultura de contorno* es la práctica de labrar, plantar y realizar todas las operaciones culturales siguiendo las líneas de contorno de la pendiente del campo. Esta práctica contrasta con la agricultura en pendiente ascendente y descendente, que es la práctica menos deseable en terrenos en pendiente altamente erosionables. El contorneado crea surcos perpendiculares a la pendiente predominante del campo. Estos surcos retardan la velocidad de la escorrentía, reducen la capacidad de transporte de la escorrentía, mejoran la infiltración del agua, reducen el transporte de sedimentos y descargan el exceso de escorrentía a velocidades no erosivas.

Siguiendo a Blanco y Lal (2010), la agricultura de contorno reduce eficazmente la tasa de erosión en suelos con pendientes de hasta el 10%. En pendientes más pronunciadas, se puede implementar un sistema de cultivo en *curvas de nivel* para controlar la erosión, pero debe ir acompañado de otras prácticas de conservación, como *canales de desagües vegetados* para descargar de manera segura el agua de escorrentía de las filas de curvas de nivel.

Los canales de desagües vegetados son estructuras hidráulicas encargadas de conducir los excesos de escurrimiento en forma no erosiva. Su función es la de consolidar las vías naturales o artificiales de escurrimiento e impedir la erosión. Es una práctica básica para la consolidación de la red de desagüe, por lo que debe estar integrada con todas las demás obras que tengan ese objetivo (canales interceptores, defensas de cabeceras, microembalses) dentro de la visión de cuenca (MyCS IF, 2018).

Con respecto a las curvas de nivel, no de los informantes hizo referencia a experiencias pasadas positivas de su implementación en suelos del Departamento Maipú:

"Estas curvas de nivel son acciones que funcionan también a largo plazo, pero hay que ir las corrigiendo y manteniéndolas. En el departamento Maipú se probaron con resultados positivos sobre las series Varga y Delfina suelos de medias lomas en secuencia con: pasturas y cultivo de girasol. Estas curvas de nivel se usaron en las chacras de Farana y Petrovich entre otros." 7:6 ¶ 6 en 8. Experto 8

Asimismo, para manejar la escorrentía y prevenir la erosión del suelo tanto en lotes de cultivos de renta como de pasturas, los informantes recomendaron la práctica de *cultivar*

cortando la pendiente. Esta técnica se aplica en condiciones de bajo potencial erosivo del sitio, con pendientes uniformes, de bajo gradiente. Su efectividad para el control de la erosión depende de la rugosidad superficial generada por las labores o por el rastrojo, y del manejo de las condiciones de infiltración del suelo (MyCS IF, 2018).

- *Manejo de la escorrentía a nivel de cuenca*

Si bien a escala de lote las anteriores son técnicas de probada eficacia, en la escala de cuenca, la misma depende del grado de adopción por el resto de los productores de la cuenca (MyCS IF, 2018). Un trabajo de Prada et al. (2011, como se cita en MyCS IF, 2018) indica que se requiere en el orden de un 50 % de la superficie de una cuenca sistematizada para obtener una eficacia aceptable en términos sociales y de reducción de escurrimientos o pérdida de suelo.

- *Implementar sistemas agroforestales*

De acuerdo a Blanco y Lal (2010), la combinación de árboles y / o arbustos con cultivos tradicionales es un enfoque biológico y ecológico para detener la erosión hídrica y eólica. Este sistema es una alternativa a las costosas estructuras de control de la erosión del suelo (por ejemplo, terrazas) para reducir la escorrentía y la erosión del suelo.

Los informantes calificados en el Delphi sugirieron, dentro de esta categoría, la práctica de *agroforestería*, implementar *sistemas silvopastoriles* y *cortinas forestales*.

- *Agroforestería*

Con relación a *agroforestería*, los expertos no precisaron formas específicas de implementación. Los tipos más comunes que se encuentran en la literatura son el *cultivo en callejones* y la *agricultura forestal*.

Los *cultivos en callejones* consisten en la práctica de plantar cultivos agrícolas u hortícolas en callejones muy espaciados entre setos de árboles y/o arbustos de 1 a 5 m de ancho. Los setos se establecen a lo largo del contorno del campo con los cultivos anuales o perennes en paralelo a los setos para un control efectivo de la erosión del suelo. Blanco y Lal (2010) afirman que el cultivo en callejones ofrece muchas ventajas sobre los sistemas agrícolas tradicionales, incluido el control de la escorrentía y la erosión del suelo, la mejora de las

propiedades del suelo, la protección del hábitat de la vida silvestre y la generación de ingresos adicionales para los pequeños productores.

Por su parte, la *agricultura forestal* es un sistema estructurado en múltiples estratos, o pisos múltiples, para la producción simultáneas de árboles y diferentes cultivos. En los niveles superiores, se cultivan árboles de madera blanda y dura, incluidos arbustos, mientras que, en los niveles inferiores, cultivos tolerantes a la sombra como banano, café, y otros cultivos especiales como flores silvestres, ginseng y hierbas, y otros productos como madera, árboles frutales, alimentos, decorativos, artesanías y medicinas (Blanco & Lal, 2010). La gestión de los sistemas agroforestales se desarrolla siguiendo los principios de la *agricultura sintrópica* (Sánchez, 2022).

Esta alternativa de producción no solo favorece la conservación del suelo y el agua, sino también la preservación de los bosques nativos. La vegetación bajo la agricultura forestal proporciona una cobertura superficial más permanente y continua que los cultivos estacionales. La cobertura del suelo en agroforestería actúa como una barrera para absorber el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, limitando el desprendimiento y transporte del suelo. Los árboles interceptan la lluvia, contribuyen a reducir la escorrentía, y unen las partículas del suelo, lo que ayuda a controlar la erosión. (Fahad et al., 2022)

➤ *Sistemas silvopastoriles*

"Los estudios de investigación apuntan a que la intervención del hombre en los suelos en estos sistemas silvopastoriles mejora la calidad del suelo. Pero solo vemos esa franja del ecosistema, nos olvidamos de la biodiversidad que contiene el monte." 8:15 ¶ 61 – 62 en 9. Experto 9

"En caso de no poder realizar las técnicas anteriores se podría realizar ganadería con manejo silvopastoril con algarrobos y pasturas implantadas." 9:12 ¶ 65 en 10. Experto 10

"En el largo plazo se puede pensar en lotes con cortinas implantadas o en caso de ser posible una planificación, una cortina de monte nativo. También sería aconsejable el manejo de monte con ganadería integrada en los casos donde sea posible de implementarlo." 9:11 ¶ 63 en 10. Experto 10

Para Blanco y Lal (2010) la agrosilvicultura silvopastoril es el sistema ideal para la conservación del suelo y el agua porque los árboles y los pastos evitan la erosión hídrica y eólica. La densa red de raíces debajo de árboles, arbustos y pastos mejora la infiltración de agua, reduce el volumen de escorrentía y mejora el transporte de contaminantes de fuentes difusas a aguas abajo. En un sistema silvopastoril se produce menos erosión del suelo porque los dos niveles predominantes del dosel (vegetación baja y alta) interceptan las gotas de lluvia y reducen la velocidad de la escorrentía. Los árboles altos actúan como cortavientos al filtrar las partículas suspendidas en el aire que se derivan de las fincas vecinas.

➤ *Manejo del bosque con ganadería integrada (MBGI)*

Una de las respuestas obtenidas en el Delphi, relacionada con la adopción de sistemas silvopastoriles, fue la de implementar sistemas MBGI, en sitios donde aún se mantienen bosques de valor alto o medio de conservación.

El Plan Nacional de Manejo de Bosques con Ganadería Integrada, surgió como una propuesta para conciliar *productivismo* con *conservacionismo*, ante la presencia de ganadería con manejo deficiente en los bosques nativos de todo el país, y adopción de prácticas extractivas intensivas o desmontes para incorporar tierras para la producción forrajera.

El MBGI es una propuesta *técnico-política*²⁵ de manejo integral del ecosistema, donde el bosque nativo se inserta dentro de la matriz productiva como un proveedor de bienes y servicios ecosistémicos (Peri & Navall, 2022). El Plan propone la adopción de tecnologías de bajo impacto ambiental con el fin de equilibrar las funciones de provisión (sobre todo, producción ganadera y forestal) con las demás funciones ecosistémicas de los bosques, bajo la condición de mantener y mejorar el bienestar del productor y las comunidades asociadas.

La propuesta MBGI con máxima intervención del bosque, plantea que un 10% o más de la superficie boscosa del predio debe permanecer como área para conservación de la biodiversidad, conectividad, y resguardo de la fauna silvestre, donde no se pueden realizar actividades ganaderas o forestales. Asimismo, la propuesta contempla el desarrollo de un banco forrajero (máximo 10% de la superficie ocupada por el bosque en el predio), con el fin

²⁵ En el año 2015 se suscribió un Convenio Marco entre el Ministerio de Agroindustria de la Nación y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, al que adhirieron formalmente diez provincias: Salta, Chaco, Formosa, Santiago del Estero, Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz, Tierra del Fuego y Jujuy.

de incorporar un mecanismo para quitarle presión al bosque nativo, cumpliendo una función esencial en el mantenimiento del sistema forestal y ganadero. Estas áreas exclusivas pueden ser utilizadas tanto para la implantación de pasturas como para cultivos, fundamentalmente sorgo, maíz, alfalfa o pasturas mejoradas en función de la actividad ganadera (las especies que surgieron en el Delphi como las más recomendadas para proteger a los suelos de la degradación). El resto del predio (80%) es destinado en el Parque Chaqueño a prácticas de rolado de baja intensidad (RBI)²⁶ donde se controla el estrato arbustivo, dejando un remanente de cobertura arbustiva mínimo del 30% por cada hectárea intervenida.

Entre los *lineamientos* de los planes MBGI se destaca la importancia vital de todos los estratos que forman parte de la estructura vertical de un bosque para el funcionamiento del ecosistema y del sistema productivo. Particularmente, se pone de relieve la funcionalidad del estrato arbustivo nativo en el ciclo de nutrientes, aporte de forraje, protección de suelos y biodiversidad, ciclo del agua, además de ser fuente de productos no madereros y de alimento y resguardo de fauna (Peri et al., 2017).

4) *Riesgo de condiciones físicas adversas*

"En mi experiencia esta es la propiedad de los suelos más vulnerable en el Chaco. La gran mayoría de los suelos del Chaco tienen problemas físicos. La densificación de los suelos se da principalmente por la pérdida de materia orgánica, compactación por maquinaria y por pisoteo animal. La planificación en los aportes de materia orgánica (enmiendas, rotación de cultivos, labranza mínima, cultivos de cobertura), mejorarían las condiciones del suelo en este sentido" [8:9 ¶ 46 en 9. Experto 9](#)

Para controlar los riesgos de degradación física en sistemas agrícolas, los expertos consideraron necesaria una planificación de manejo del suelo a largo plazo, que tenga como objetivo mantener o aumentar el contenido de materia orgánica edáfica y mejorar las condiciones estructurales del suelo. Para ello recomendaron las siguientes prácticas:

- *Adoptar agricultura de conservación*

Rotaciones de cultivos que incorporen gramíneas, más precisamente el cultivo de sorgo o maíz, ya que aportan abundante biomasa aérea y radical, y genera una gran cantidad de residuos de cosecha, lo cual contribuye al aumento de la materia orgánica del horizonte superficial, y

²⁶ Para más información sobre esta práctica, consultar el trabajo de Kunst *et al.* (2008)

a una mayor porosidad del suelo a través del volumen de raíces. Como ya se mencionó, y siguiendo a Blanco y Lal (2010), los rastrojos en descomposición mejoran la estructura del suelo y los flujos de agua, aire y nutrientes en el suelo, y amortiguan la superficie del suelo contra los elementos climáticos (gotas de lluvia, viento) y el tránsito de maquinaria.

Labranza cero o labranza mínima. Los suelos compactados tienen un número bajo de macroporos, alta densidad aparente, baja infiltración de agua y altas tasas de escorrentía. La labranza y el manejo de residuos y la aplicación de enmiendas afectan la densidad de los agregados (Blanco y Lal, 2010). El aumento del contenido de materia orgánica del suelo y la bioturbación en la labranza cero diluyen la densidad de los agregados y aumentan la macroporosidad del suelo, lo cual es importante para aumentar la tasa de infiltración de agua y reducir las tasas de escorrentía. Blanco y Lal (2010) afirman que aunque generalmente se prefiere el manejo sin labranza a las prácticas que alteran el suelo, en algunos suelos (p. ej., arcillosos) puede ser necesaria una labranza ocasional para: (1) aliviar la compactación excesiva del suelo, (2) reducir la interferencia de los residuos de cultivos superficiales durante el establecimiento de la siembra, y (3) compensar la estratificación de nutrientes y materia orgánica del suelo debido al confinamiento de los residuos de cultivos a la superficie del suelo.

En el caso de tener que realizar labranzas por estos motivos, en el Delphi se sugirió rotar implementos agrícolas (cincel, vibrocultivador, rolo), y en suelos de textura pesada trabajarlos con la humedad adecuada para no generar piso de arado, que dificulte la infiltración.

Cultivos de cobertura. Como se mencionó anteriormente, los cultivos de cobertura proporcionan abundante biomasa al suelo, tanto aérea como radicular, lo cual, además de proteger al suelo de la erosión eólica, mejoran las propiedades del suelo. Reducen la compactación y formación de costras del suelo, y aumentan la macroporosidad. La entrada de biomasa abundante mejora la estructura del suelo, aumenta la retención y transmisión de agua, facilita la aireación, aumenta la fertilidad y mejora la actividad biológica.

- *Fertilizar con enmiendas orgánicas*

Los expertos sugirieron la fertilización con enmiendas orgánicas, ya que el abono orgánico contribuye a disminuir la compactación del suelo y aumenta la capacidad de

“autoacolchamiento” del suelo. De acuerdo a Blanco y Lal (2010), las enmiendas modifican la matriz del suelo amortiguando la consolidación excesiva de los agregados secos del suelo y mejorando la resistencia estructural general del suelo.

- *Manejo del pastoreo*

Para sistemas ganaderos, los expertos coincidieron en sugerir, una vez más, que los pastizales sean gestionados con *pastoreo controlado y rotativo* para reducir el sobrepastoreo y evitar la compactación por pisoteo animal. Blanco y Lal (2010) explican que la compactación, consolidación y formación de charcos son los principales procesos que se ponen en marcha por el pastoreo excesivo y que alteran la calidad física del suelo. El pastoreo excesivo junto con el efecto de pisoteo degrada la estructura del suelo, reduciendo la estabilidad de los agregados, la distribución del tamaño de los poros, la macroporosidad, la porosidad total y la tasa de infiltración de agua; reduce la cantidad de cubierta vegetal requerida para proteger la superficie del suelo expuesta, aumenta el sellado de la superficie y formación de costras, reduce la agregación y sella los macroporos abiertos. Por lo tanto, enfatizaron la importancia de controlar la carga ganadera y la exclusión para mejorar la recuperación del pasto, la acumulación de biomasa y el crecimiento de pastos anuales y perennes, recordando que el incremento de la producción de pastos y de la diversidad de plantas aumenta la producción ganadera.

Asimismo, recomendaron implantar pasturas diversas, algunas con sistema radical pivotante y otras con sistemas radical fasciculado. Esto generaría aporte de materia orgánica y rotura de las capas densificadas del suelo. Uno de los informantes, además, sugirió realizar una labor profunda con rápida incorporación de pasturas consociadas, por ejemplo, tréboles del género *Melilotus* junto con gramíneas, para dar sinergia al sistema.

- *Incluir cultivos forrajeros dentro de las rotaciones de cultivos*

En concordancia con lo expresado por Ledesma et al. (1979), cuando las limitantes o riesgos de degradación sean muy severos, los informantes sugirieron incorporar cultivos forrajeros en las rotaciones, rotando actividades agrícolas y ganaderas, enfatizando la necesidad de mantener más tiempo el suelo cubierto con las forrajeras que con los cultivos de renta:

"En el largo plazo se debería considerar dejar 3 o 4 años de pastura permanente en rotación con los cultivos agrícolas." 4:14 ¶ 52 en 5. Experto 5

"En la rotación dar mayor tiempo a la ganadería y en los períodos agrícolas tomar precauciones para no acentuar sus problemas" [11:11 ¶ 65 en 12. Experto 12](#)

- *Convertir el uso del suelo agrícola en ganadero*

En los casos más extremos de degradación, los expertos evaluaron esta alternativa como una alternativa que no solo brinda la posibilidad de restaurar el suelo, sino también proporciona viabilidad económica. Argumentaron que el potencial agrícola inferior de estos ambientes no llega a generar los rendimientos agrícolas necesarios para cubrir los costos directos de los cultivos. A esta idea la expresaron de distintas maneras:

"Estos ambientes tienen un rinde potencial agrícola inferior, y por los bajos precios de nuestros commodities agrícolas en este tiempo, no siempre alcanzan los rindes de indiferencia." [2:14 ¶ 54 en 1. Experto 1](#)

"En estos ambientes donde se realiza agricultura con muchas limitaciones se puede realizar una muy buena ganadería. Dedicaría a ganadería estos ambientes, implantando la pastura o combinación de pasturas perennes más adaptadas a cada sector del lote." [2:27 ¶ 55 en 1. Experto 1](#)

"La aptitud del suelo condiciona el sistema de producción reduciéndolo a la explotación ganadera con implantación de pasturas permanentes y tolerantes o resistentes a las condiciones adversas que se describen en la unidad. " [12:17 ¶ 55 en 13. Experto 13](#)

"Si el sistema es agrícola puro, ver la posibilidad de incorporar la ganadería e ir en forma paulatina a este sistema, recordando medidas de manejo ganadero para los suelos. " [11:14 ¶ 75 – 76 en 12. Experto 12](#)

- *Reforestar con especies nativas e implementar sistemas silvopastoriles*

Alternativamente, una acción de respuesta adaptativa mencionada fue la de *reforestar* el sitio con especies nativas e implementar *sistemas silvopastoriles*. Esta alternativa consiste en reestablecer los árboles en tierras deforestadas, y transcurrido un tiempo, implantar pasturas e introducir animales a pastorear debajo de los árboles.

En la República Argentina el algarrobo blanco se promociona para ser utilizado en plantaciones forestales con fines de producción de madera. Pernochi et al. (2021)

argumentan que esta especie se complementa muy bien con la ganadería en planteos silvopastoriles. En la Provincia del Chaco solo un número reducido de productores han incorporado forestaciones y sistemas silvopastoriles en sus sistemas productivos, en virtud de ensayos de instituciones de investigación e iniciativas privadas. Al ser relativamente reciente su implementación en la zona, los aspectos relacionados a combinaciones de componentes, manejos y rendimientos se encuentran aún en estudio (Pernochoi et al., 2021).

Dependiendo del sitio de crecimiento de los árboles, las pasturas se siembran al año de realizarse la reforestación y los animales se incorporan al sistema al tercer o cuarto año (Pernochoi, L., comunicación personal, 3 de marzo de 2023).

5) *Riesgo de condiciones químicas adversas*

- *Adoptar agricultura de conservación*

Se deben planificar adecuadamente la sucesión de cultivos en las rotaciones teniendo como objetivo conservar materia orgánica, mantener niveles de nutrientes y la cobertura de suelo, y con ello, mejorar la estructura del suelo. Los expertos recomendaron secuencias de gramíneas y leguminosas, ya que aportan grandes volúmenes de materia orgánica. Incluir en las rotaciones barbechos largos para mantener el suelo cubierto.

Recomendaron también la adopción de cultivos de cobertura en las rotaciones, incorporando al suelo los residuos vegetales para incrementar el aporte de materia orgánica.

Asimismo, consideraron importante implementar labranza cero, argumentando que el sistema de labranza convencional agrava el problema de salinidad del suelo:

"la agricultura convencional agrava el problema, aumentando año a año la superficie cubierta por blanquiales, por lo que en lotes con esta problemática hay que descartar este sistema de siembra convencional y pasar sin excepción a un sistema de siembra directa. Para corregir este problema hay que cubrir el suelo y no moverlo, de esta manera se evita que las sales sigan ascendiendo." 2:22 ¶ 84 – 86 en 1. Experto 1

"Sistema de labranza conservacionista, sin remoción del suelo. Cobertura de suelos" 5:17 ¶ 67 en 6. Experto 6

"Evaluar el tipo de labranza que se realiza. Apuntar la siembra directa" 10:18 ¶ 98 – 100 en 11. Experto 11

- *Incluir especies forrajeras dentro de las rotaciones e implementar sistemas mixtos integrados*

Varios expertos ponderaron la importancia de incluir forrajeras dentro de las rotaciones de cultivos. Esta recomendación va en línea con la realizada por Ledesma (1979):

“Los productores rurales que tengan suelos con problemas de salinidad, tienen la alternativa de aplicar métodos naturales, tales como rotaciones flexibles de cultivos, recargadas con cultivos compactos y forrajeras, utilizando plantas de raíces profundas para mejorar el drenaje y para prevenir pérdidas de agua” (p.14).

- *Implantar cultivos tolerantes a la salinidad*

El uso de variedades tolerantes a condiciones salinas fue considerado como una opción útil de adaptación a las condiciones adversas. El uso de cultivos tolerantes a la sal puede ser tan eficaz como las enmiendas químicas o incluso mejor, según el nivel de salinidad y el tipo de suelo. Por ejemplo, el algodón es un cultivo que se desarrolla normalmente en condiciones de suelos con salinidad ligera (A. López, comunicación personal, 24 de noviembre 2022).

- *Fertilizar con abonos inorgánicos y enmiendas orgánicas*

Para bajar el halomorfismo del suelo los informantes recomendaron las fertilizaciones inorgánicas y orgánicas. Los abonos inorgánicos deben ser semi-incorporados al suelo para acelerar su descomposición. La aplicación de enmiendas orgánicas puede aumentar la lixiviación del sodio (Na⁺) al mejorar la macroporosidad del suelo y la infiltración de agua. En situaciones puntuales, surgieron aplicar yeso (SO₄Ca) o dolomita para reducir la salinidad.

- *Labranzas profundas - subsolado*

Un informante recomendó la práctica de labranzas profundas en suelos con problemas de salinidad:

"Para el subsistema agrícola: producir cultivos con enmiendas químicas y orgánicas para bajar el halomorfismo del suelo con la incorporación de labranzas profundas y lograr la implantación de cultivos." [12:35 ¶ 88 en 13. Experto 13](#)

El subsolado es una práctica de labranza en la que se ara el suelo a unos 50 cm de profundidad para romper capas compactadas del subsuelo. Esto aumenta la tasa de infiltración de agua, la permeabilidad y el drenaje, y por lo tanto permite una lixiviación eficaz y rápida de sales solubles a capas más profundas. Blanco y Lal (2010) reconocen que, aunque el subsolado no es adecuado en sistemas de labranza cero, es una práctica que permite llevar las capas de suelo del subsuelo con bajas concentraciones de sal a la parte superior volteando el suelo. Los suelos altamente salinos o sódicos requieren formas intensas de restauración, por lo tanto, la medida a adoptar dependerá de la gravedad del problema a resolver.

- *Fertilización de pasturas*

Si no se fertilizan los suelos de pasturas, con el tiempo estos van perdiendo nutrientes y, por consiguiente, la producción de forraje disminuye. Con la fertilización, no solo se cubren las necesidades nutricionales de las plantas, sino también se repone y corrige deficiencias de nutrimentos del suelo. Sin embargo, se debe advertir que el uso excesivo de fertilizantes químicos, generan toxicidad y contaminación de aguas subterráneas, degradación del suelo y ecosistemas. Por lo tanto, se requiere un uso moderado de fertilizantes sintéticos. En el Delphi, dos de los expertos consideraron esta práctica como alternativa para abordar el riesgo de condiciones químicas adversas. Además, recomendaron implementar un sistema de pastoreo controlado que asegure un adecuado reciclaje de nutrientes.

- *Pastoreo Racional Voisin (PRV)*²⁷

Un informante hizo referencia a la adopción de PRV como alternativa para afrontar riesgos de condiciones químicas adversas. El PRV es un sistema de producción ganadero considerado dentro de los paradigmas *regenerativos*.

De acuerdo a Ponce (2020) los productores ganaderos tienden a confundir el PRV con los sistemas de pastoreo rotativos convencionales. Sin embargo, aunque en el PRV se aplica la rotación de potreros, no se limita únicamente a esto. A diferencia de los sistemas rotativos convencionales, donde el manejo es más extensivo y no se considera necesariamente la

²⁷ La técnica del PRV fue nombrada así en honor a su creador, el profesor André Marcel Voisin, un bioquímico y ganadero francés, fallecido en 1964." (Castro et al., 2020)

recuperación de las pasturas, en el PRV se tiene en cuenta la fisiología vegetal, es decir, la relación entre la planta comestible por los animales herbívoros y el suelo, los animales, el clima y todas las demás condiciones de ambiente del entorno, el ecosistema del que hacen parte, y en general todos los factores que influyen y que modifican el desempeño de los pastos y forrajes (Ponce, 2020, p. 11). El PRV permite aumentar la carga animal y a su vez, el cuidado permanente de las pasturas, a través de periodos óptimos de ocupación y descanso de los potreros que permiten potenciar su productividad y calidad nutricional. Además, permite aumentar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, evitando el uso de fertilizantes químicos, porque los desechos del ganado son distribuidos de manera homogénea por toda el área del potrero. Esto contribuye de manera significativa en la evolución de la biota edáfica, mejora la utilización de la materia orgánica por las plantas, retención de la humedad, evita la compactación, incide en la captación y retención del carbono, lo cual favorece este tipo de manejo la relación suelo-planta-animal y la resiliencia al cambio climático (Ponce, 2020, p. 15). Además, está probado que los sistemas de PRV bien implementados convierten a los suelos en secuestradores neto de carbono (Castro et al., 2020; Ponce, 2020). Así, esta técnica permite aumentar la biodiversidad, la productividad y la rentabilidad de los sistemas ganaderos y, al mismo tiempo, obtener carbono, aire y agua, tres pilares ambientales que son vitales para mitigar la incidencia en el cambio climático" (Castro et al., 2020, p. 13).

- *Control de malezas en pastizales naturales*

Uno de los expertos argumentó que, cuando un sistema ganadero funciona en suelos con problemas de salinidad o alcalinidad, los potreros están cubiertos con pastos naturales de escaso valor nutritivo. En esos casos, recomendó, recuperar el suelo pasando una *rastra pesada* sobre el pasto natural, y posteriormente, implantar una pastura tolerante a las condiciones de halomorfismo. Esto permitiría el aporte de altos volúmenes de materia orgánica, lo cual es clave para la recuperación del suelo. Además, recomendó regular la carga ganadera, como medida adicional, para permitir el aporte de materia orgánica y evitar que aumente el halomorfismo del suelo, y este regrese a su estado natural.

- *Implementar sistemas agroforestales*

Se recomendó especialmente la adopción de sistemas silvopastoriles, con implantación de pasturas tolerantes a la salinidad. Asimismo, se sugirió la instalación de cortinas rompevientos, bien dejando parte del bosque nativo como cortinas forestales o reforestando con especies nativas.

En sistemas silvopastoriles, los árboles de algarrobo blanco son muy adecuados para los problemas de condiciones químicas adversas, ya que es una especie adaptada para crecer en suelos salinos y degradados, y fijan nitrógeno atmosférico que puede ser aprovechado por las pasturas (Pernochi et al., 2021). Además, los árboles producen abundante biomasa y hojarasca, lo que aumenta el contenido de materia orgánica y nutrientes del suelo.

6) Operar en los sistemas blandos

Además de las respuestas relacionadas con los *Sistemas duros* –aquellas relacionadas con los procesos físicos, químicos, y ecológicos- surgieron respuestas que hicieron referencia a los *Sistemas blandos*, es decir, aquellas relacionadas con la forma en que las personas perciben su entorno y con las opciones disponibles.

Se habló de concientizar sobre el uso responsable de los suelos, de utilizarlos según su capacidad productiva y no por necesidades coyunturales; también de analizar y visibilizar el problema entre los productores, compartir las posibles acciones y consensuarlas; repensar los sistemas de producción; integrar el conocimiento científico con los saberes y experiencia de los productores; planificar a largo plazo, e implementar un paradigma de gestión holístico que tenga en cuenta la totalidad del sistema en lugar de enfocar los elementos por separado. Entender que las soluciones no se dan siempre en una sola dirección.

5.3.3 Categorías emergidas de la codificación axial

Los diagramas visuales permitieron relacionar los distintos códigos entre sí, en torno al fenómeno central, los riesgos agro-edafológicos, e identificar categorías más abstractas, que en este caso fueron de dos tipos, *condiciones causales* (una categoría) y *estrategias* (cuatro categorías). Si bien en la etapa de codificación abierta surgieron algunas *condiciones contextuales e intervinientes*, es decir, los factores que influyen en las estrategias, estos no fueron incluidos en los diagramas visuales para no complejizar (aún más) su lectura. Sin embargo, se las menciona al final de este apartado.

A continuación, se describe cada categoría y se presenta un diagrama de flujo que describe los códigos con mayor enraizamiento y densidad incluidos dentro de la categoría. Cada categoría fue identificada con un color. En los diagramas visuales de los Anexos V a IX, el color de los nodos indica, precisamente, la categoría a la cual pertenecen.

✓ **Primera categoría: Atributos o procesos virtuosos** (color celeste)

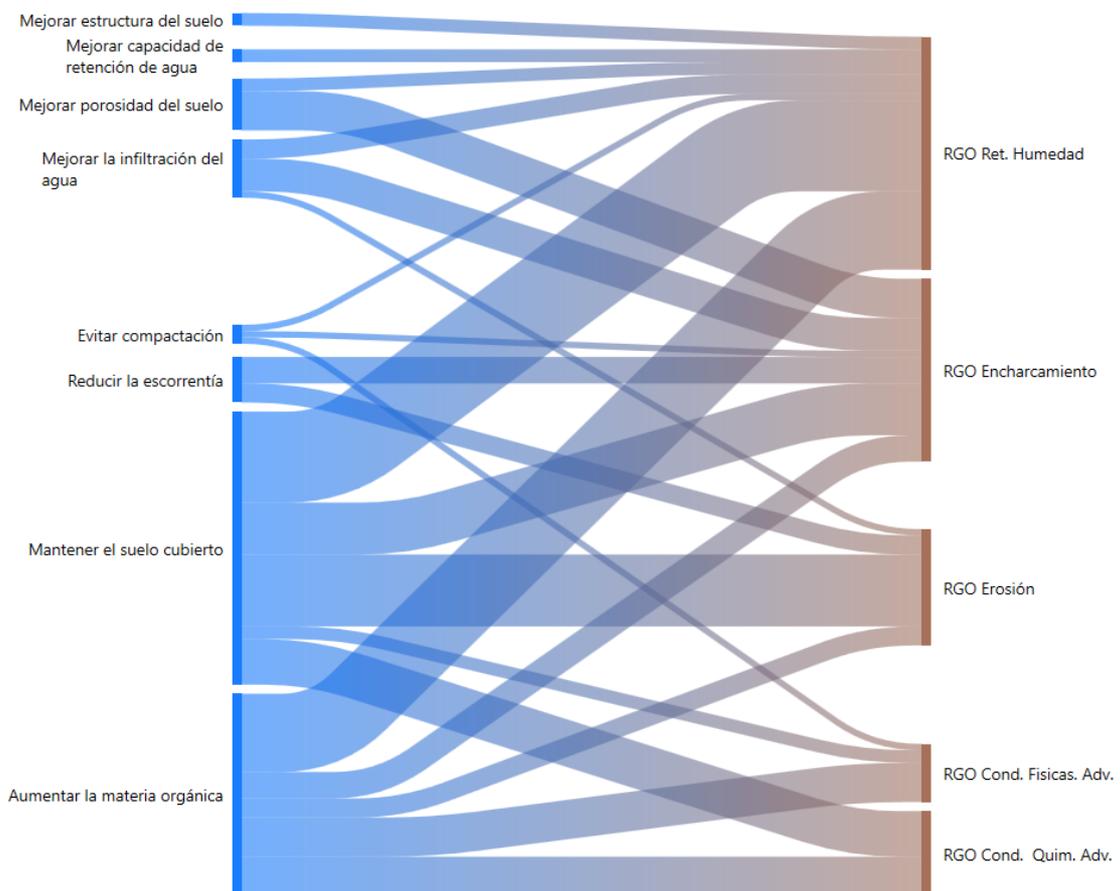
Esta categoría reúne aquellos códigos que hacen referencia a atributos o procesos del suelo, que son indispensables para que estos mantengan y/o recuperen su integridad estructural y funcional. La Figura 5.1 muestra un diagrama de flujo donde se pueden observar cuales fueron los atributos o procesos virtuosos que surgieron de la codificación, donde el ancho de la barra muestra el nivel de enraizamiento del código. De especial importancia resultaron los códigos “aumentar la materia orgánica del suelo” y “mantener el suelo cubierto” como atributos o condiciones causales indispensables para abordar las presiones de largo plazo en el suelo, y de la Sostenibilidad en general (desde la escala espacial más pequeña, la finca, hasta la escala global). Por una parte, como afirma Sánchez (2022, p. 63), “*la vegetación es para el suelo como la piel para el cuerpo humano*”, y un suelo desnudo es un suelo que se degrada continuamente a través de procesos tales como: a) la mineralización de la materia orgánica y la consecuente pérdida de nutrientes; b) pérdida de estructura del suelo; c) disminución de la capacidad de almacenar y retener el agua; d) compactación del suelo, lo que impide el crecimiento de las plantas; e) disminución de la infiltración del agua; f) procesos erosivos que pueden volverse irreversibles en el mediano y largo plazo. Por el contrario, cubriendo el suelo ya sea con plantas (cobertura viva) o con materia con materia orgánica en descomposición²⁸ (hojarasca, troncos, ramas, etc.), no solo se previenen o revierten los procesos de degradación, sino también se garantiza una elevada humedad relativa del aire, se minimiza la amplitud térmica, lo cual, disminuye la evapotranspiración y resulta en un suelo húmedo por mayores períodos de tiempo (Sánchez, 2022). Por su parte, la renovación de la materia orgánica es fundamental para la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes de las plantas, y el mantenimiento de la capacidad de retención de agua, lo que la convierte en un indicador clave no sólo para la

²⁸ Para refrescar, el concepto de materia orgánica hace referencia a los constituyentes orgánicos en el suelo en distintas etapas de descomposición, tales como tejidos de plantas y animales muertos, materiales de menos de 2 mm de tamaño y organismos del suelo (FAO, 2017).

productividad agrícola sino también para la resiliencia ambiental. La descomposición de la materia orgánica del suelo libera nutrientes minerales, lo cual los hace disponibles para el crecimiento de las plantas, contribuyendo un mejor crecimiento de las plantas y una mayor productividad los cual garantiza la seguridad alimentaria (FAO, 2017).

Por lo tanto, es muy importante que estos dos atributos o procesos se traduzcan en objetivos de gestión que guíen la acción.

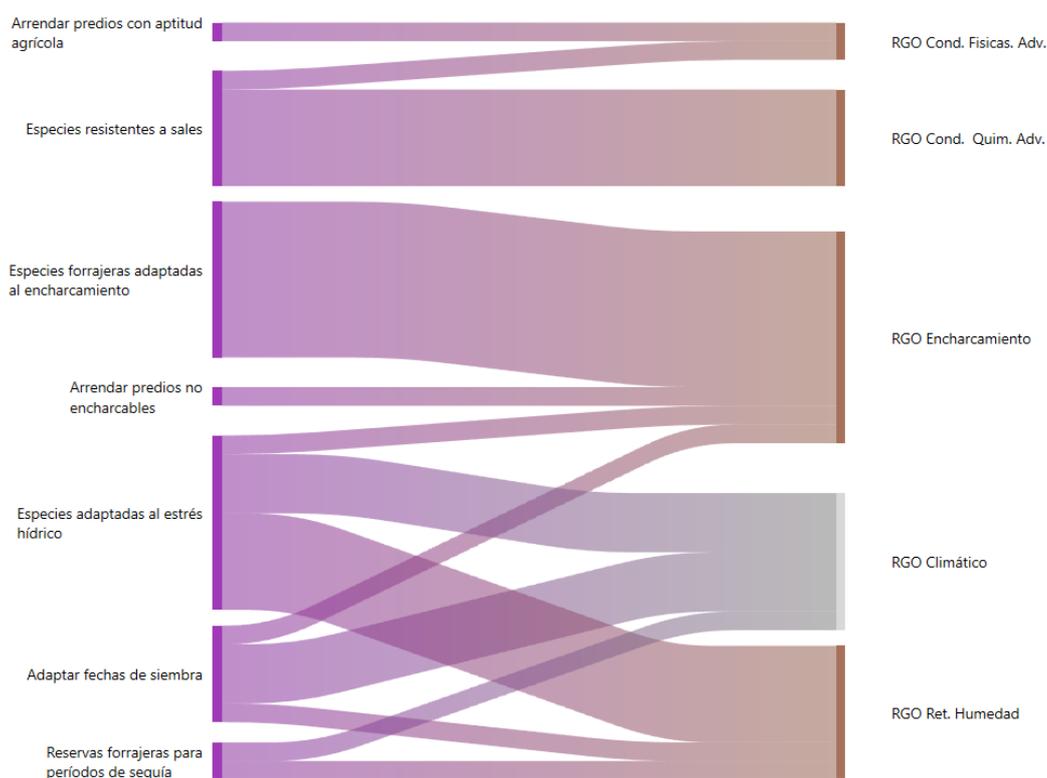
Figura 5.1 Contribución de los atributos o procesos virtuosos al amortiguamiento de los riesgos agro-edafológicos



- ✓ **Segunda categoría: Estrategias de acomodamiento o *buffer*** (nodos color violeta)

En esta categoría se incluyen a las acciones que no desencadenan ningún proceso o atributo (virtuoso o no virtuoso) del suelo, sino que simplemente permiten al sistema ajustarse a la variabilidad climática y a las condiciones del suelo. Esta categoría expresa la capacidad de asimilar una perturbación sin un cambio en la estructura o función del agroecosistema. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 5.2, incluye medidas como adaptar fechas de siembra a las condiciones climáticas, adoptar especies tolerantes a las condiciones edáficas, o confeccionar reservas de forrajes para períodos de sequías. La capacidad de amortiguación es particularmente importante para amortiguar pequeñas perturbaciones y en las fases iniciales de afrontamiento de grandes shocks.

Figura 5.2 Estrategias de acomodamiento ante los riesgos climáticos y agro-edafológicos



- ✓ **Tercera categoría: Adaptaciones conservacionistas** (color verde las agrícolas; amarillo, las ganaderas)

Son adaptaciones **en las prácticas** agrícolas y ganaderas, realizadas sobre las estructuras y funciones ya establecidas, bajo un paradigma de gestión de comando y control. Son acciones que están guiadas por los objetivos y valores prevalecientes en la actual configuración del sistema. Son adaptaciones incrementales porque reducen las pérdidas o mejoran los beneficios ante los shocks y presiones del suelo, ya que generan atributos o procesos virtuosos en el suelo, pero no generan cambios radicales en la configuración de la estructura del sistema agropecuario ni un cambio en el paradigma de gestión. En las figuras 5.3 y 5.4 se muestran las acciones incluidas dentro de esta categoría para los sub-sistemas agrícola y ganadero, respectivamente. Se puede apreciar que, en los sistemas agrícolas, las adaptaciones más fundamentales están relacionadas con la adopción de la labranza de conservación, esto implica adoptar labranza cero **junto con** rotación de cultivos, cultivos de cobertura, e implantar cultivos que aporten grandes volúmenes de biomasa tanto aérea como radical. Asimismo, adoptar medidas sencillas para el manejo de la escorrentía como cultivar cortando la pendiente, y utilizar enmiendas orgánicas para mantener el equilibrio nutricional. La frase “junto con” se escribe en negritas y subrayado porque según la información calificada, implementar sistemas de labranza cero sin las rotaciones adecuadas, y la cobertura que requiere el suelo no es suficiente para generar los atributos o procesos que mantienen la estructura y funcionalidad del suelo.

En ganadería, el aspecto más importante es el manejo prudente del pastoreo que implica controlar de la intensidad del pastoreo e implementar un sistema de pastoreo rotativo, junto con la implantación de pasturas perennes y manejar las especies leñosas invasoras. Estas medidas aseguran mantener el suelo, evitando el sobrepastoreo y la compactación por pisoteo animal.

Figura 5.3 Adaptaciones conservacionistas en agricultura

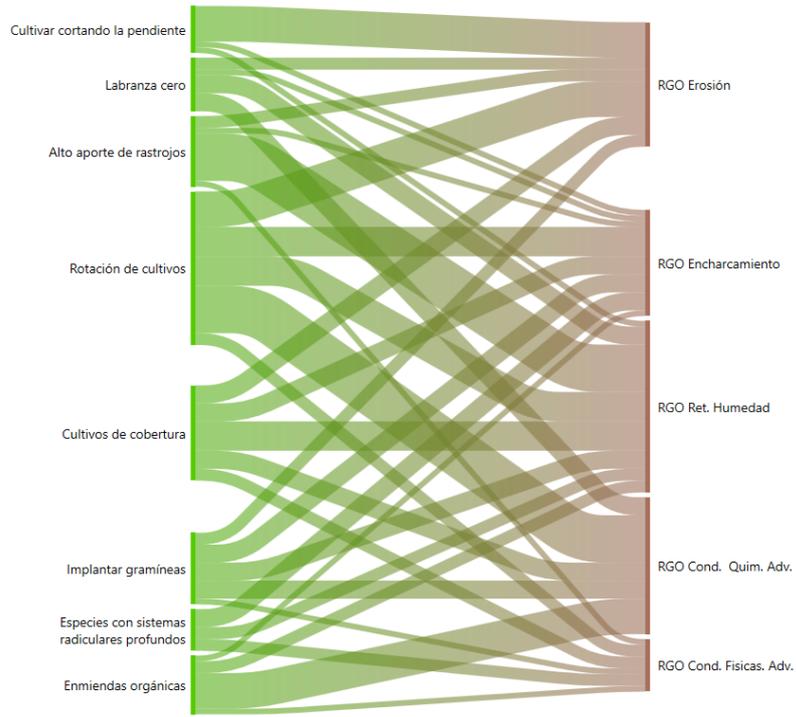
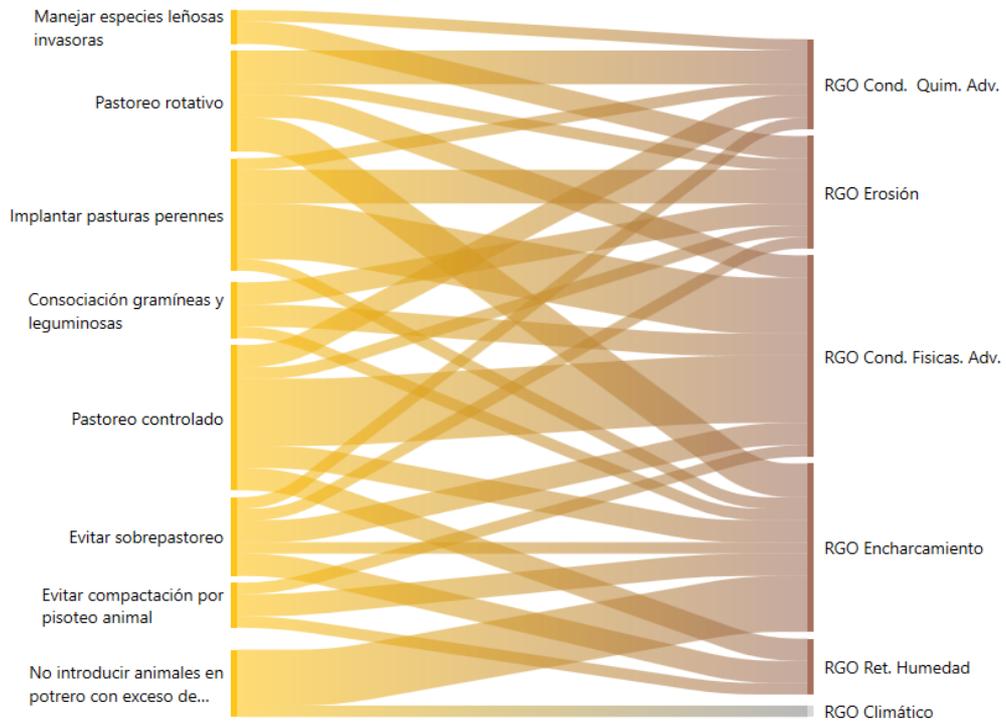


Figura 5.4 Adaptaciones conservacionistas en ganadería

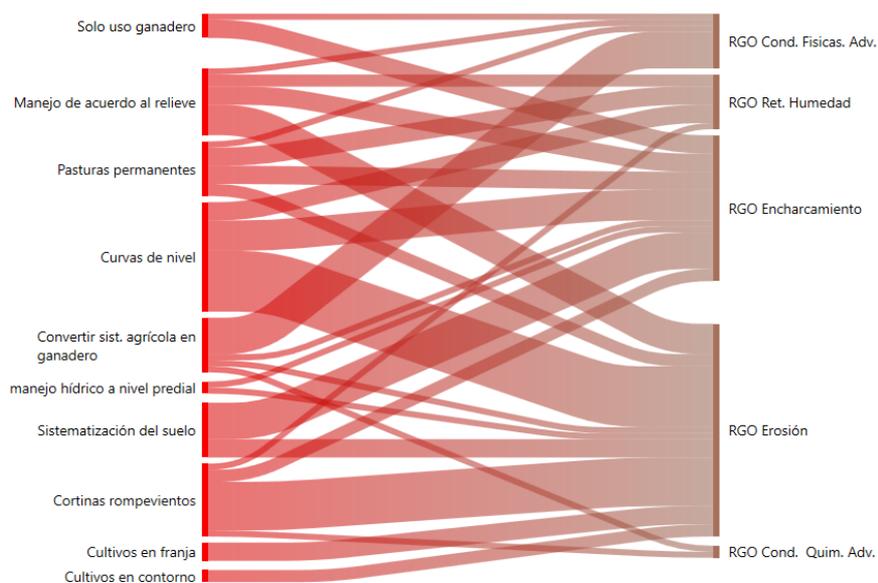


✓ **Quinta categoría: Adaptaciones estructurales** (color rojo)

En esta categoría se incluyen adaptaciones más profundas y a largo plazo, aunque el sistema sigue operando dentro del mismo régimen de comando y control. A diferencia de las adaptaciones conservacionistas, que son ajustes en las prácticas, aquí se requiere hacer ajustes en el sistema general, inclusive cambios estructurales importantes, como, por ejemplo, convertir el sistema agrícola en ganadero, si el estado de degradación del suelo es muy severo. Como muestra la Figura 5.5, estas medidas apuntan principalmente a controlar los riesgos de erosión y de encharcamiento. Esta categoría puede refinarse aún más y subdividirse en tres sub-categorías:

- Acciones tendientes a manejar la escorrentía, lo que implica la sistematización del suelo con curvas de nivel, cultivos en contorno o en franjas, en línea con la sugerencia de implementar un manejo del suelo de acuerdo al relieve.
- Mantener el suelo siempre cubierto implantando con pasturas permanentes y estableciendo cortinas rompevientos.
- Destinar el suelo solo al uso ganadero, lo que en algunos casos puede implicar tener que convertir el sistema agrícola en ganadero.

Figura 5.5 Adaptaciones del Sistema



✓ **Sexta categoría: Adaptaciones transformadoras** (color rosa)

En esta categoría se incluyen cambios radicales en la gestión, estructura y funciones de los sistemas, así como en la percepción y entendimiento del sistema de los decisores. Son adaptaciones asociadas a: cambios en los valores y objetivos del sistema; cambios en la percepción del entorno (en lugar de introducir un cambio en un entorno que se supone estático, se reconoce que el entorno es cambiante y que el sistema debe ir adaptándose a ese cambio); y nuevos patrones de interacción entre los actores. La perspectiva coevolutiva del sistema y su entorno permite un enfoque proactivo y reactivo de la adaptación y amplía el alcance de lo que se puede cambiar, siempre teniendo en cuenta que lo que se desea conservar, en este caso, es la integridad estructural y funcional del suelo.

La Figura 5.6 muestra las distintas adaptaciones transformacionales sugeridas por los expertos. Dentro de esta categoría se pueden encontrar tres subgrupos:

- Adopción de enfoques holísticos, donde se pone especial énfasis en la integración y en las interacciones entre los elementos, en lugar de ocuparse de ellos en forma individual. Entre ellos se encuentran: la agroecología; la agroforestería, gestionada bajo principios de la agricultura sintrópica; manejo de bosque con ganadería integrada (MBGI), bajo principios del *management* adaptativo; pastoreo racional *Voisin*, dentro de un paradigma regenerativo; y los sistemas silvopastoriles, ya sea en bosques nativos o en bosques implantados. En bosques nativos, asegurando la regeneración del bosque y en bosques implantados, mediante la reforestación de las áreas desmontadas.

Salvo el pastoreo racional *Voisin*, todos estos enfoques implican incluir árboles en los sistemas, imitar a la naturaleza aumentando la diversidad de especies y diversificar la producción, lo cual, a la vez que reduce los riesgos agro-edafológicos y climáticos, amortigua los riesgos de mercado y garantiza la seguridad alimentaria.

- Otro enfoque transformador para este territorio consiste en adoptar el antiguo paradigma de gestión en el que se rotaban actividades agrícolas y ganaderas en tiempo y espacio, a través de la sucesión de cultivos de escarda con cultivos forrajeros en los planteos productivos.

- El manejo hídrico a nivel de cuenca es otra forma de abordar los riesgos agro-edafológicos, especialmente, los riesgos de erosión hídrica y de encharcamiento. Como señala en (MyCS IF, 2018), *la erosión hídrica es un proceso complejo, multicausal, dinámico, de tipo*

episódico y sujeto a un conjunto de causas que ocurren en el ámbito de una cuenca hidrográfica (p.13). La erosión puede ser considerada a escala de lote o parcela, o a nivel de cuenca. En una escala de cuenca se pueden dar procesos erosivos como cárcavas y erosión de márgenes de ríos y arroyos, lo cual requiere tener una visión más amplia del problema de la erosión hídrica, y no registrarlo sólo a escala de lote. Por otro lado, mucho de los problemas de escorrentía a nivel de lote o parcela pueden tener su origen a un nivel o escala superior. La resolución de estos procesos requiere de la coordinación de acciones e involucramiento de todas las partes interesadas, así como del conjunto de decisores con incumbencia en el ámbito de la cuenca, ya que a este nivel pueden producirse fenómenos como la ruptura de redes viales, puentes, etc., a la vez que su control suele requerir de obras hídricas de envergadura (MyCS IF, 2018).

Figura 5.6 Adaptaciones Transformadoras



Una de las medidas sugeridas, como se puede ver en la Figura 5.6, fue la conformación de uno o más *Consortios de suelo y agua* para la coordinar las acciones todos los actores involucrados. Los marcos normativos de la Provincia del Chaco relacionados con la

conservación y mantenimiento de los suelos²⁹ propician este tipo de acciones voluntarias, sin embargo, a la fecha, no han sido adoptadas.

5.3.4 Resultados de la codificación selectiva

Una vez obtenidas las categorías principales del análisis se retoma la heurística del enfoque de Vías, y con la ayuda del Grafico 5.7, se elabora la respuesta a la pregunta de investigación:

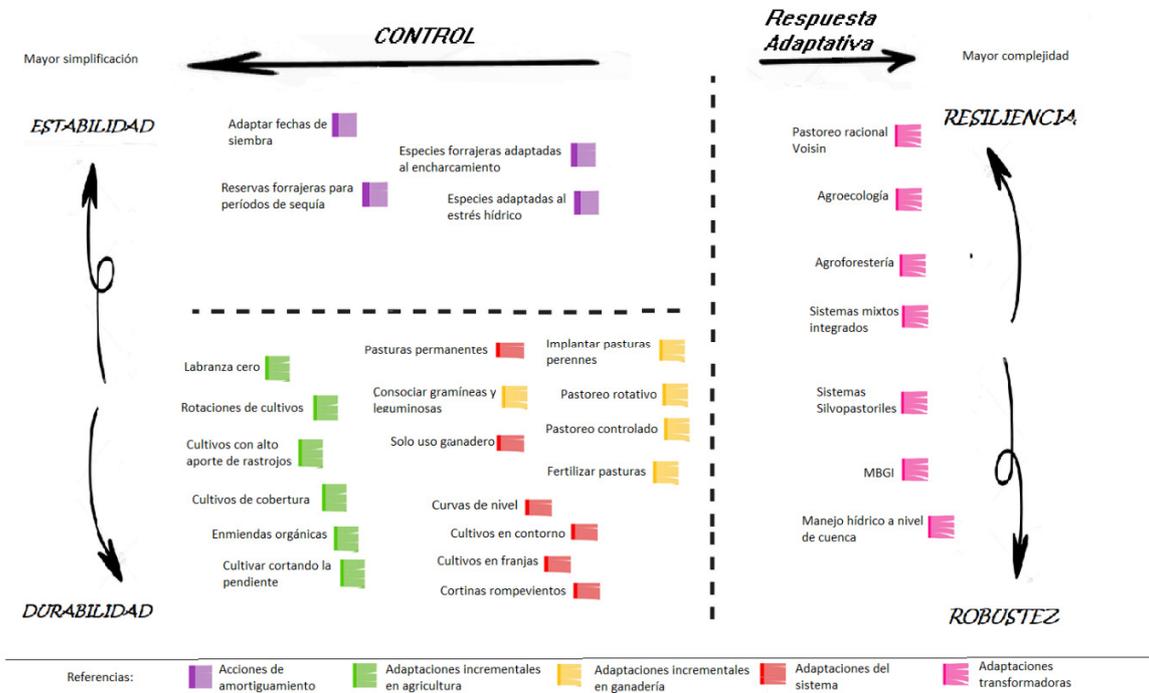
¿Qué cambios se requieren en las estructuras y funciones y/o en los paradigmas de gestión de los sistemas mixtos del Departamento Maipú, para que los sistemas sean estables, durables, resilientes y robustos, ante los shocks climáticos de corto plazo y las presiones de largo plazo en los suelos?

El grafico 5.7 expone las principales acciones de control y respuesta adaptativa, ubicadas en los cuatro cuadrantes de la heurística. Recapitulando el marco conceptual, la propiedad dinámica de *estabilidad* implica la capacidad de mantener la estructura o el valor funcional del sistema mediante acciones de control de las perturbaciones climáticas de corto plazo; la propiedad de *durabilidad* implica la capacidad de mantener la estructura o el valor funcional del sistema mediante el control de los riesgos agro-edafológicos a largo plazo; la *resiliencia* implica la capacidad de mantener la estructura o el valor funcional respondiendo de manera adaptativa a shocks climáticos transitorios; y la *robustez* implica la capacidad de mantener la estructura o el valor funcional del sistema al responder adaptativamente al estrés duradero en el suelo a largo plazo.

En los dos cuadrantes del lado izquierdo de la Figura 5.7, se situaron los códigos asociados con las acciones de control, y en los del lado derecho, los códigos asociados a las respuestas adaptativas. Los colores de los códigos hacen referencia a la categoría axial a la que pertenecen.

²⁹ Código Rural de la Provincia del Chaco, Ley N° 713-I (Antes Ley 3727); Mantenimiento y Restauración de la Capacidad Productiva De Suelos, LEY 501-R (Antes Ley 3035)

Gráfico 5.7. Heurística *Vías a la sostenibilidad* aplicada al caso de los sistemas agropecuarios en el Departamento Maipú, Chaco



Estabilidad

En el cuadrante superior izquierdo de la Figura 5.7 se colocaron las acciones que contribuyen a absorber los shocks climáticos mediante acciones de control. Entran en este cuadrante las prácticas *de amortiguamiento*, como, por ejemplo, ajustar las fechas de siembra, sembrar especies adaptadas al estrés hídrico o a las condiciones edáficas, o disponer de reservas forrajeras para períodos de sequía. La capacidad de *buffer* es particularmente importante para amortiguar pequeñas perturbaciones y en las fases iniciales de afrontamiento de grandes shocks, como las sequías duraderas.

Dentro del cuadrante de estabilidad se podría incluir también a los sistemas ganaderos de cría tal como funcionan en la actualidad en el Departamento Maipú. Carreño et al. (2009) hacen un análisis de los *trade-offs* entre estabilidad y productividad, y argumentan que, en condiciones de bajos insumos, existe una relación inversa entre productividad y estabilidad. Afirman que el rendimiento energético de la producción de granos o pasturas (producción primaria) es más elevado, pero menos estable (mayor variación en los rendimientos y, por lo tanto, exposición al riesgo) que la producción de carne (producción secundaria). Dado que la

estabilidad de la producción está estrechamente relacionada con las restricciones impuestas por el ambiente, es común que el productor se incline por la ganadería en los ambientes marginales o en períodos de sequía o exceso de lluvias, y por cultivos anuales de granos en los ambientes más favorables. Si las condiciones ambientales mejoran, la tendencia es sustituir pasturas y pastizales por cultivos anuales para aumentar la productividad del sistema, y, por ende, la rentabilidad, pero a expensas de la estabilidad.

Los sistemas intensivos de agricultura continua son altamente inestables. Desde el punto de vista biológico, los sistemas son tan simplificados que todo el proceso productivo se basa en dos o tres especies de alta productividad. Son altamente dependientes de insumos fósiles externos porque la energía del sol capturada por fotosíntesis es insuficiente para motorizar todo el proceso productivo. El uso excesivo de plaguicidas, suele ser la causa más común de contaminación del agua y el aire. Los sistemas manejados con sistemas de la labranza convencional, o la implementación de siembra directa sin rotaciones de cultivos adecuadas desde el punto de vista agronómico, alteran la estructura y funcionalidad del suelo. Las rotaciones inadecuadas hacen que los egresos de nutrientes sean mayores que los ingresos, y que, con el paso del tiempo, el ciclo mineral se debilite. Los sistemas agrícolas se vuelven altamente inestables y, por ende, altamente riesgosos.

En cambio, los sistemas ganaderos de cría son biológicamente más diversificados, ya que en el proceso productivo intervienen un gran número de especies forrajeras nativas sumadas a las especies cultivadas.

Durabilidad

Aunque los sistemas ganaderos sean relativamente estables y diversos, dos de sus componentes principales, la cobertura vegetal y el suelo son muy sensibles a la mala gestión y pueden degradarse rápidamente, perdiendo la capacidad de resistir las condiciones climáticas adversas. Las *adaptaciones incrementales* en sistemas ganaderos (códigos amarillos) tales como implementar un pastoreo controlado y rotativo; implantar pasturas perennes, consociando gramíneas y leguminosas; y rejuvenecer las pasturas mediante fertilizaciones contribuyen a reducir los riesgos agro-edafológicos, y a mantener las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

En los sistemas de agricultura continua, las *adaptaciones incrementales* (códigos verdes) también aportan durabilidad a los sistemas, mediante el control de los riesgos edafológicos. Con prácticas de agricultura de conservación de manera continuada, hace que a largo plazo se restauran los suelos degradados, al reducirse o eliminarse la alteración del suelo, y por la alta entrada de residuos. Las rotaciones de cultivos complejas y diversas, más aún si incluyen cultivos forrajeros, donde se incluyan cultivos de cobertura, son preferibles a los monocultivos para mejorar la durabilidad del suelo (Blanco & Lal, 2010). Si los suelos están severamente degradados (sobre todo, los suelo Clase IV), deben destinarse solamente al uso ganadero.

Las acciones de *adaptación del sistema* (códigos rojos) son prácticas a largo plazo y también contribuyen a la durabilidad, algunas son para controlar la escorrentía (cultivar cortando la pendiente, implementar curvas de nivel, agricultura de contorno o en franjas); otras para asegurar la cobertura del suelo (pasturas permanentes) y otras para controlar la erosión eólica (cortinas rompevientos).

Resiliencia

En los cuadrantes del lado derecho de la Figura 5.7 se encuentran los códigos asociados con las respuestas adaptativas a los shocks que otorgan resiliencia y robustez a los sistemas. En este cuadrante se ubicaron las adaptaciones transformadoras (códigos rosados), que consisten en la reconfiguración estructural y funcional de los sistemas de producción. Las opciones de adaptación toman la forma de nuevos sistemas, con lógicas de funcionamiento, supuestos y formas de organizar los flujos de recursos y actividades radicalmente distintos a las formas actuales de los sistemas en el área de estudio.

En el campo de estudio de los sistemas socio-ecológicos la resiliencia se define como "*la capacidad de un sistema para absorber las perturbaciones y reorganizarse mientras sufre cambios a fin de conservar esencialmente la misma función, estructura, identidad y retroalimentación*" (Walker et al., 2004, p. 4). Esta definición abarca dos aspectos que son centrales al concepto y al enfoque *Pensamiento de resiliencia*: la adaptabilidad y la capacidad de transformación (Folke et al., 2010). La adaptabilidad representa la capacidad de ajustar las respuestas a los drivers externos y a los cambios en los procesos internos permitiendo el desarrollo del sistema dentro de su trayectoria o dominio de estabilidad. La

transformabilidad es la capacidad de cruzar umbrales hacia nuevas trayectorias de desarrollo (Darnhofer, 2014).

Anderies et al. (2013) señalan que la resiliencia es un concepto a nivel de sistema que no es normativo, y no incluye opciones específicas sobre medidas de desempeño. Si se relaciona con atributos amplios a nivel del sistema, como la capacidad de construir y aumentar la capacidad de aprendizaje y adaptación, se trata de la *resiliencia general*, o si se define más concretamente la resiliencia “de qué” y “para qué” se trata de *resiliencia específica* (Carpenter et al., 2001).

Muchos aspectos importantes de la resiliencia en los sistemas socioecológicos pueden no ser directamente observables, pero pueden inferirse indirectamente (Darnhofer, 2014). La literatura de resiliencia cuenta con numerosos trabajos sobre indicadores o *sustitutos*³⁰ de la resiliencia. Por ejemplo, Cabell y Oelofse (2012), basándose en una extensa revisión de literatura, presentan un indicador compuesto de resiliencia en agroecosistemas que incluye 13 atributos, que se sintetizan a continuación:

1) *Capacidad de autoorganización* luego de una perturbación. Si bien los seres humanos necesitan mantener cierto grado de control sobre los componentes biofísicos, eso significa limitar el grado en que el componente ecológico del sistema es capaz de autoorganizarse; sin embargo, Cabell y Oelofse (2012) señalan que hay mucho que aprender al observar cómo los ecosistemas no administrados se autoorganizan siguiendo las perturbaciones para aplicar ese modelo a la gestión humana (el tema de “imitar a la naturaleza” surgió también en la codificación abierta del Delphi). Desde un punto de vista social, el grado en que los agricultores, los consumidores y otras partes interesadas pueden organizarse es también un indicador de un agroecosistema resistente; 2) *autorregulación ecológica* implica que los sistemas tengan la capacidad de regular los flujos de energía y nutrientes, controlar las plagas y regenerarse con una necesidad mucho más baja de intervención humana con respecto al modelo convencional de agricultura; 3) *adecuada conectividad* implica relaciones dinámicas entre elementos dentro de un sistema, y entre sistemas, a través de las escalas espaciales y temporales. La teoría de la resiliencia dice que la cantidad y la fuerza de las conexiones dentro

³⁰ Dado que la resiliencia es una propiedad emergente, muchos autores evitan el término 'indicadores' de resiliencia y proponen 'sustitutos' en su lugar (Darnhofer et al., 2016).

de un sistema y entre sistemas pueden determinar su capacidad de adaptación, transformación y capacidad de respuesta general a los cambios, lo cual influye en el grado de resiliencia del sistema (Gunderson & Holling, 2002); 4) *alto grado de diversidad funcional y de respuesta*, donde la diversidad funcional se refiere a la variedad de elementos y los servicios de los ecosistemas que proporcionan dentro del sistema socio-ecológico, y la diversidad de respuestas hace referencia al cambio ambiental entre las especies que contribuyen a la misma función del ecosistema; 5) *redundancia*, que se relaciona con la presencia de unidades superfluas que tienen cierto grado de superposición funcional dentro del sistema, como una forma de aseguramiento ante las perturbaciones, aunque a expensas de la eficiencia ya que se insumen más recursos. Sin embargo, debido a que la perturbación es inevitable e impredecible, puede ser rentable a largo plazo estar preparado; 6) *alto grado de heterogeneidad espacial y temporal*; un agroecosistema con un patrón heterogéneo de usos de la tierra y cultivos, incluidas las variedades de cultivos, es más resiliente frente a futuros cambios climáticos. Una mayor heterogeneidad en el paisaje también apoya una mayor diversidad de especies, lo que aumenta la capacidad de respuesta y la diversidad funcional; 7) *estar expuesto cuidadosamente a las perturbaciones*, lo cual impulsa los procesos de evolución y adaptación y desarrolla la capacidad de los ecosistemas para recuperarse de las perturbaciones futuras; 8) *ser responsable con el capital natural local*, eliminando la dependencia de recursos externos al sistema, y operando dentro de los medios de la base de recursos local, incluyendo la capacidad para reciclar residuos; 9) *aprendizaje reflexivo y compartido*, incluyendo todos los tipos de conocimientos, científico, experto, local, indígena, etc., ya que todas las formas de conocimiento son igualmente válidas; 10) *ser globalmente autónomo y localmente interdependiente*, se relaciona con tener una relativa autonomía de los *drivers* que están fuera de la esfera de influencia de los agroecosistemas (por ejemplo, mercados globales, acuerdos comerciales internacionales, corporaciones multinacionales), y fortalecer las redes de actores a un nivel más local; 11) *honrar el legado al invertir en el futuro*, significa que la historia del sistema o su legado determina en gran medida su trayectoria futura (dependencia de la trayectoria). El legado es la memoria del sistema socio-ecológico y puede aprovecharse para construir un sistema más resiliente. Los legados pueden presentarse en forma de cultura y tradiciones, conocimiento indígena e instituciones, pero también en forma de bancos de semillas y otros recursos biofísicos (árboles, suelo) que se

heredan de los predecesores; 12) *construir capital humano*, movilizando conocimientos, habilidades y experiencias a través de las relaciones sociales y la pertenencia a redes; 13) que el sistema sea *razonablemente rentable* y permita cubrir las necesidades de quienes trabajan en él y los gestionan.

Los modelos de sistemas ubicados en los cuadrantes del lado derecho de la Figura 5.7, en mayor o menor medida presentan estas características o adhieren a ellas como principios.

Altieri y Nicholls (2013) resaltan la importancia de los sistemas agrícolas diversificados como los sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles y policultivos, para la variabilidad y el cambio climático, y sostienen que estos agroecosistemas complejos son capaces de adaptarse y resistir sus efectos. Los sistemas agroforestales tienen una alta complejidad estructural, que sirve como amortiguador frente a grandes fluctuaciones de temperatura, manteniendo el cultivo principal más cerca a sus condiciones óptimas.

Para Altieri y Nicholls (2013) la agrobiodiversidad es la que provee un enlace entre estrés y resiliencia; contar con una diversidad de organismos es clave para que los ecosistemas funcionen y provean servicios. Resaltan que los componentes que aparecen redundantes en un tiempo determinado, son los que se vuelven importantes cuando ocurre un cambio ambiental porque permiten al ecosistema continuar funcionando y brindando los servicios ecosistémicos. Los autores enfatizan: “*lo clave aquí es entender que cuando ocurre cambio ambiental, son las redundancias del sistema las que permiten un funcionamiento continuo del sistema*” (p. 9).

La diversidad de cultivos, árboles y animales proporciona un “seguro” o sirven de “amortiguador” frente a fluctuaciones ambientales porque estos responden de manera diferente a las fluctuaciones. De ahí la importancia de las estrategias de diversificación en los agroecosistemas, porque la diversidad se traduce en heterogeneidad ecológica e incrementa las opciones.

Por otro lado, los sistemas altamente diversificados, por ejemplo, los *sistemas mixtos integrados*, promueven interacciones ecológicas en el espacio y el tiempo entre los cultivos, pastizales y animales, creando oportunidades de transferencias de recursos sinérgicos entre ellos. Permiten sustituir con tecnologías, por ejemplo, insumos químicos y maquinarias de última tecnología utilizadas en sistemas agrícolas intensivos especializados, por servicios eco

sistémicos, como la fertilidad del suelo o la regulación biológica de plagas y enfermedades (Martin et al., 2016), lo cual reduce los riesgos de degradación del suelo.

Robustez

La propiedad dinámica de *robustez*, por otra parte, en sistemas socioecológicos puede interpretarse como una menor sensibilidad de los *productos* a los shocks (Anderies et al., 2013). Anderies et al. (2004) sugieren que un sistema socioecológico es robusto si evita que los sistemas ecológicos en los que se basa se muevan hacia un nuevo dominio de atracción que no pueda sustentar a una población humana, o que induzca una transición que causará sufrimiento humano a largo plazo.

Cuando los productos del sistema, en este caso, bienes y servicios ecosistémicos, están relacionados con el funcionamiento continuo del sistema, entonces la robustez y la resiliencia están estrechamente relacionadas, ya que los productos retroalimentan al propio sistema.

El concepto de *robustez* del sistema vincula explícitamente la dinámica del sistema con las medidas de desempeño. Anderies et al. (2013) sugieren que poner el foco en la *robustez* puede ser útil para vincular las ideas de *resiliencia* sobre la naturaleza de la persistencia y la transformación en sistemas complejos, con tales medidas de desempeño.

Aplicar ideas de robustez implica:

- a) especificar estrictamente el problema a resolver;
- b) especificar los principios generales asociados con los sistemas de retroalimentación;
- c) diseñar políticas sólidas y los *trade-offs* fundamentales entre robustez y fragilidad asociados con diferentes diseños de políticas y estructuras de gobernanza, diseñadas para reducir la sensibilidad de un producto dado del sistema o una clase claramente definida de perturbaciones e incertidumbres.

De este modo la robustez contribuye a hacer operativo el marco de toma de decisiones de sostenibilidad a corto y mediano plazo, y a formular preguntas de diseño de políticas bajo incertidumbre (Anderies et al., 2013).

El diseño robusto generalmente implica un equilibrio entre el rendimiento máximo del sistema y la robustez. Un sistema "robusto" normalmente no funcionará tan eficientemente con respecto a un conjunto de criterios elegido como su contraparte no robusta. Sin embargo,

el sistema robusto el rendimiento no disminuirá tan rápidamente como su contraparte no robusta cuando se enfrenta a perturbaciones externas o tensiones internas (Anderies et al., 2004)

Un ejemplo de aplicación de las ideas de resiliencia y robustez se puede encontrar en los sistemas de manejo de bosque con ganadería integrada (MBGI), que tienen un objetivo bien definido y especificado (implementar una combinación de actividades ganaderas y forestales que permita el mantenimiento de los componentes estructurales y funcionales del bosque nativo, y por ende de sus servicios ecosistémicos). Los planes de manejo MBGI adoptan un conjunto de indicadores como sistema de retroalimentación, para monitorear las consecuencias de las prácticas implementadas sobre los aspectos económicos, sociales y ambientales del sistema socio-ecológico a escala predial y a escala espacial más amplia, de cuenca o sitio ecológico. Se basan en el paradigma del *manejo adaptativo*, donde la gestión de los componentes del sistema se va ajustando de acuerdo a la retroalimentación que brindan los indicadores. Se diseñó un sistema de gobernanza, conformado por los Comités Técnicos Provinciales MBGI, que interviene en la aprobación de los planes de manejo, implementación y seguimiento. Los Comités evalúan el impacto de los Planes de Manejo sobre los principales procesos naturales en el estado de conservación de los bosques y en la calidad de vida de la población asociada a ellos (Peri & Navall, 2022). Además, de estas características relacionadas con la robustez, los sistemas MBGI tienen otras que los llevan al ámbito de la resiliencia, por ejemplo, adecuada conectividad, alto grado de diversidad funcional y de respuesta, redundancia, alto grado de heterogeneidad espacial y temporal, ser responsable con el capital natural local, aprendizaje reflexivo y compartido, y honrar el legado al invertir en el futuro.

Por otra parte, la sugerencia de crear un área o distrito de conservación de suelos entre los productores para gestionar los recursos hídricos y la escorrentía a escala de cuenca podría ser robusto si se implementa siguiendo los principios de diseño de sistemas para la gestión de bienes y recursos comunes, propuesto por Ostrom (1990, como se cita en Anderies et al. 2004): 1) límites claramente definidos del sistema y las personas o fincas con derechos a hacer uso de los recursos; 2) equivalencia proporcional entre beneficios y costos para cada unidad usuaria del recurso, de acuerdo con las condiciones locales; 3) acuerdos de elección colectiva, donde la mayoría de las personas afectadas por las reglas de aprovechamiento y

protección están incluidas en el grupo que puede modificar estas reglas; 4) monitoreo, para auditar activamente las condiciones biofísicas y el comportamiento de los usuarios; 5) sanciones graduales (según la gravedad y el contexto de infracción) para los usuarios que violen las reglas en uso; 6) mecanismos de resolución de conflictos entre usuarios o entre usuarios y funcionarios; 7) reconocimiento mínimo de los derechos de sindicación, donde los derechos de los usuarios de diseñar sus propias instituciones no son cuestionados por autoridades gubernamentales externas, y los usuarios tienen derechos de tenencia a largo plazo sobre el recurso.

Estos principios podrían emplearse en el Departamento Maipú para implementar los Planes de Manejo Sostenible de la Ley de Bosques, para que el manejo de sistemas silvopastoriles se ciña a los criterios y lineamientos técnicos que aseguran la conservación y continuidad del bosque. Si bien los árboles están situados en predios privados, estos son un recurso común vital para sustentar el funcionamiento sostenible de todo el sitio ecológico, y como tal, su gestión debería estar contenida y monitoreada dentro de un esquema de gobernanza participativa.

Para reordenar lo dicho hasta ahora con respecto a la gestión de los riesgos climáticos y agro-edafológicos, las propiedades dinámicas de los sistemas y su relación con la sustentabilidad de los sistemas de producción del Departamento Maipú, en la Provincia del Chaco, a continuación, se enuncian una serie de proposiciones comunes. Estas proposiciones resultan en cuatro proposiciones teóricas que dan respuesta a las preguntas de investigación.

Proposición 1: *La sostenibilidad agropecuaria gira en torno a la producción de alimentos y fibras en un entorno de suelo totalmente funcional que sea ecológicamente seguro. Esto implica gestionar los shocks climáticos de corto plazo y las presiones agro-edafológicas de largo plazo, que afectan a la estructura y funciones de los suelos.*

Proposición 2: *Las estrategias de acomodamiento permiten amortiguar y absorber los shocks climáticos de corto plazo y contribuyen a la estabilidad de los sistemas agrícolas y ganaderos.*

Proposición 3: *Las adaptaciones conservacionistas y las adaptaciones estructurales del sistema permiten controlar los riesgos agro-edafológicos de largo plazo, contribuyendo a la durabilidad de los sistemas agrícolas y ganaderos.*

Proposición 4: *Cuanto mayor es la complejidad y diversificación de los sistemas, mayores son las sinergias potenciales y redundancias entre los componentes animales, vegetales y del suelo, por lo tanto, mayor capacidad tiene el sistema para amortiguar las fluctuaciones ambientales de corto plazo.*

Proposición 5: *Si se explicitan los objetivos o problemas a resolver, y se establecen un conjunto de indicadores que sirvan como retroalimentación, se pueden diseñar agroecosistemas robustos y sistemas de gobernanza que sean capaces de hacer frente a los distintos estados del conocimiento incompleto.*

Proposición 6: *Los sistemas agropecuarios deben integrarse al paisaje para para conservar y proteger los fragmentos de bosque remanentes, aumentar la cobertura arbórea en las fincas y amortiguar y conectar las áreas protegidas, lo cual requiere un sistema de gobernanza horizontal y participativo.*

Proposición 7: *La conservación del suelo y el agua requiere un sistema de gobernanza horizontal y participativo.*

Proposición teórica 1: *para amortiguar los shocks de corto plazo, además de las estrategias de acomodamiento, es necesario dotar de mayor complejidad, diversidad y redundancia a los sistemas agropecuarios.*

Proposición teórica 2: *para gestionar las presiones de largo plazo en el suelo, se requiere diseñar agroecosistemas que incluyan prácticas conservacionistas y adaptaciones estructurales del sistema, junto con un sistema de indicadores que permitan generar una retroalimentación para adaptar el sistema a las condiciones cambiantes del sistema y del entorno.*

Proposición teórica 3: *los recursos suelos, agua y bosques, de gran valor e importancia a nivel social, requieren tanto de gestión individual, a nivel de finca, como de gestión colectiva, a través de mecanismos de gobernanza horizontales y participativos.*

Proposición teórica 4: *si se cumplen las proposiciones teóricas 1 a 3, los sistemas son estables, durables, resilientes y robustos ante los shocks climáticos de corto plazo y las presiones agro-edafológicas de largo plazo.*

5.4 Conclusiones

El suelo es la memoria donde se almacenan todos los cambios y modificaciones realizados en el sistema agropecuario (Carvalho et al., 2018). Al mismo tiempo, es la llave de la sostenibilidad del sistema, desde donde se pueden fomentar las propiedades dinámicas de estabilidad, durabilidad, resiliencia y robustez, tanto en la dimensión ambiental como en las dimensiones económica y social.

Los resultados del análisis muestran la existencia de múltiples caminos a través de los cuales los sistemas agropecuarios pueden alcanzar la sostenibilidad. Estos caminos implican mover la gestión desde la idea de equilibrio, estabilidad y riesgo, hacia la aceptación del cambio ubicuo y permanente, y la gestión tanto de disturbios de corto como presiones de largo plazo; asimismo asumir que no tenemos conocimiento de todos los estados posibles que pueden adquirir las variables críticas, ni de sus probabilidades.

Algunos de estos caminos adoptan la forma de adaptaciones incrementales en las prácticas actuales, otros, cambios más importantes a nivel de sistema, y otros cambios radicales y transformadores, asociados a cambios en el paradigma de gestión.

Los ajustes incrementales involucran prácticas de acomodamiento y prácticas conservacionistas. Las prácticas de acomodamiento no desencadenan procesos virtuosos en el suelo, pero sirven para amortiguar el impacto de los shocks climáticos de corto plazo. Son ejemplos de este tipo el adaptar fechas de siembra, mantener reservas de forrajes para épocas de sequía, o cultivar pasturas adaptadas al anegamiento o estrés hídrico. Estas prácticas apuntan mantener la *estabilidad* del sistema en medio de las perturbaciones.

Las prácticas conservacionistas consisten en mejorar las prácticas que actualmente ya se realizan en los sistemas; por ejemplo, en sistemas agrícolas sustituir los sistemas de labranza convencionales por sistemas de labranza conservacionistas, planificar rotaciones de cultivos más diversificadas y a más largo plazo, adoptar cultivos de cobertura, o aplicar enmiendas orgánicas. En sistemas ganaderos, moderar la intensidad del pastoreo, implementar sistemas de pastoreo rotativos e implantar pasturas perennes. El objetivo de estas prácticas es mantener el suelo cubierto, a aumentar o mantener la materia orgánica del suelo, controlar la

escorrentía y a aumentar la infiltración del agua de lluvia, procesos que contribuyen a la *durabilidad* del sistema en el largo plazo.

Los cambios a nivel de sistema son de mayor envergadura e involucran prácticas estructurales, como, por ejemplo, sistematizar el suelo con curvas de nivel, cultivos en contorno o en franja. También se incluyen en esta categoría cambios más radicales como convertir los sistemas agrícolas en ganaderos. Estas medidas se adoptan cuando los problemas de erosión son muy severos, o los suelos presentan estados de degradación física, química y biológica y requieren una conversión para su restauración. Todas ellas otorgan *durabilidad* al sistema.

Las acciones que brindan *resiliencia* y *robustez* implican cambios en la percepción y en los valores del decisior, cambios en los supuestos operativos y en las formas de organizar los flujos de recursos y actividades. Implican un enfoque holístico que van más allá de la escala predial, y tiene en cuenta también de los impactos fuera de la finca de las prácticas que se implementan a nivel interno. La resiliencia del sistema frente a los shocks de corto plazo proviene de la complejidad, diversidad y redundancia de especies. La robustez del sistema proviene de la definición clara y explícita de los objetivos a perseguir en el sistema junto con la implementación de un sistema de retroalimentación que permita ir adaptando a las actividades a las condiciones cambiantes del entorno. Asimismo, requiere de un sistema de gobernanza horizontal y participativo para la gestión del suelo, agua y bosques. Dentro de las vías alternativas que responden a estas características, se puede distinguir entre *tipos de sistemas* y *tipos de paradigmas de manejo*. Entre los tipos de sistemas se encuentran los sistemas mixtos integrados, los sistemas agroforestales, tales como los cultivos en callejones, y los sistemas silvopastoriles en bosque nativo o en bosque implantado. Entre los tipos de paradigma de manejo, la agroecología, el pastoreo racional Voisin, y los planes MBGI (donde existan bosques de alto y medio valor de conservación). Vale mencionar, que de entre todas estas alternativas las que mayor consenso experto presentaron como vía de respuesta adaptativa fueron los sistemas mixtos integrados y los sistemas silvopastoriles.

Un sistema agropecuario generalmente combina distintos tipos de acciones. Dependiendo de cuales se enfatizan podrán ser más estables, duraderos, resilientes o robustos. La sostenibilidad tal como se concibe en el enfoque de *Vías* implica adoptar todos los tipos de

acciones, dependiendo de las circunstancias del contexto y de los objetivos que se establezcan para el sistema.

Para el contexto de producción del Departamento Maipú, los sistemas mixtos integrados son particularmente interesantes porque combinan tanto acciones de control como de respuesta adaptativa. Si se realiza un manejo del pastoreo controlado, se beneficia la salud del suelo (mejora la estructura del suelo, el estado nutricional, el control de la salinidad); la mayor biodiversidad reduce la presión de plagas; y mejorar el rendimiento de los cultivos (Carvalho et al., 2018; Entz et al., 2005). Permiten sustituir las tecnologías de insumo, utilizadas en los sistemas intensivos especializados, por servicios ecológicos de regulación biológica de plagas y enfermedades. Adicionalmente, se reduce la variabilidad del ingreso anual de la finca, ya que los ingresos ganaderos tienden a ser menos volátiles que los ingresos agrícolas.

Por otra parte, los *Consortios de suelos* promovidos por el Código Rural de la Provincia y por la Ley Mantenimiento y Restauración de la Capacidad Productiva De Suelos podrían ser catalizadores de un sistema de gobernanza participativa para la gestión del suelo, el agua y los bosques.

La conjunción de estas dos *vías* podrían ser la punta del *iceberg* para emprender nuevos caminos hacia la sostenibilidad de los sistemas mixtos del Departamento Maipú.

CAPITULO 6: Discusión de los resultados, principales aportes y alcances de la investigación

6.1 Implicancias para la gestión de los sistemas agropecuarios

Las acciones de adaptación y modelos resultantes del estudio Delphi Fundamentado implican en la práctica aprender a gestionar la complejidad de un sistema ecológico. Leach et al. (2010) argumentan que esto se puede hacer desde dos perspectivas distintas, que tienen implicancias diferentes para la gestión y el cambio organizacional. Con el primer enfoque 'descriptivo' de la complejidad, el desafío es primero describir, luego modelar y finalmente responder prescriptivamente. Con el segundo enfoque 'construido' el decisor se involucra en situaciones de complejidad y usa sistemas o pensamiento complejo para aprender el camino hacia una acción intencionada que pretende mejorar la situación actual. Esta última perspectiva implica un enfoque de *sistemas blandos* para la gestión y el cambio organizacional.

El enfoque de sistemas blandos pone atención en la forma en que los humanos perciben su entorno y sus opciones. La forma en que las relaciones causa-efecto entre la naturaleza y la sociedad afectan el comportamiento humano depende principalmente de los procesos de apropiación, experiencia, intercambio con otros y aprendizaje. Bajo este paradigma, ni los objetivos del sistema ni sus límites están dados, sino que se discuten y se negocian (Darnhofer et al., 2012a). Dentro de este enfoque constructivista se encuentra el paradigma de *gestión adaptativa*.

La gestión adaptativa es un enfoque de la gestión de los recursos naturales que hace hincapié en el proceso de aprendizaje. Se basa en la filosofía de que el conocimiento es incompleto y mucho de lo que creemos que sabemos en realidad es incorrecto (Allen et al., 2011). A diferencia del método de 'prueba y error', el manejo adaptativo tiene un método sistemático, que incluye: a) una aclaración cuidadosa de las metas, b) la identificación de objetivos de manejo alternativos e hipótesis de causalidad, y c) procedimientos para la recopilación de datos seguidos de evaluación y reiteración.

De acuerdo a Allen (2011), la gestión adaptativa no es una panacea para la navegación de "problemas perversos", ya que no produce respuestas fáciles y solo es apropiada en un subconjunto de problemas de gestión de recursos naturales donde tanto la incertidumbre como la capacidad de control son altas (es decir, se basa en la idea de que los recursos responderán a la gestión).

No obstante, los fundamentos conceptuales de la gestión adaptativa son simples: siempre habrá incertidumbre inherente e imprevisibilidad en la dinámica y el comportamiento de los sistemas socioecológicos complejos, pero aún se deben tomar decisiones de gestión y, siempre que sea posible, se debe incorporar el aprendizaje en la gestión. (Allen et al., 2011, p. 1339).

Para la correcta adopción del paradigma se requiere implementar un sistema de *gobernanza adaptativa*. De acuerdo a Leach et al. (2010), la gobernanza adaptativa es esencialmente de naturaleza experimental y, lejos de buscar una gran teoría sobre cómo gobernar sistemas complejos, busca desarrollar capacidades basadas en experiencias pasadas y un compromiso con el aprendizaje social.

Los arreglos de gobernanza adaptativa consisten en redes de individuos, organizaciones y agencias que se autoorganizan y se controlan a sí mismos y que tienen la capacidad de aplicar enfoques flexibles, colaborativos y basados en el aprendizaje para gestionar los ecosistemas.

De acuerdo a Folke et al. (2005) esto significa romper con rutinas que ya no son adecuadas al problema y experimentar, adaptar y revisar nuevas medidas en la búsqueda de relaciones socioecológicas más resilientes. Se acepta que los resultados de la intervención seguirán siendo inciertos, y las estrategias para anticipar consecuencias no deseadas se basan en enfatizar la flexibilidad y el aprendizaje.

La gobernanza adaptativa, sin embargo, presenta también algunos problemas, por ejemplo, las estrategias no abordan los profundos desacuerdos y los intereses polarizados. Tales divisiones obstaculizan el tipo de producción de conocimiento consensuado, la acción estratégica voluntarista y la misión compartida que quienes defienden la gobernanza adaptativa consideran esenciales para una gestión socioecológica eficaz (Leach et al., 2010)

Las condiciones identificadas por Leach et al. (2010) como importantes para la gobernanza adaptativa incluyen la capacidad de considerar configuraciones alternativas del sistema y

estrategias para elegir entre alternativas, creando conocimiento y redes sociales comprometidas con el cambio; procesos de creación de confianza y sentido y liderazgo en la movilización de apoyo y la gestión de conflictos.

6.2 Implicancias políticas para la gestión del riesgo agropecuario

El Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) resalta que los impactos y riesgos de cambio climático son cada vez más complejos y más difíciles de gestionar (Pörtner, 2022). Diversos riesgos están conectados a través de escalas, desde lo local a lo global, a través de riesgos próximos y distantes (Wassénius & Crona, 2022).

El mundo ahora es muy complejo, y con esta complejidad, hay más variabilidad, aleatoriedad y resultados imprevistos y desconocidos (Wassénius & Crona, 2022). El Sexto Informe del IPCC alerta que en el futuro cercano ocurrirán simultáneamente múltiples riesgos climáticos y peligros no climáticos, lo cual resultara en un riesgo generalizado, compuesto y en cascada que repercutirá en todos los sectores y regiones (Pörtner, 2022).

En el sector agropecuario, el calentamiento global debilitará progresivamente la salud del suelo y los servicios de los ecosistemas, como la polinización, aumentará la presión de plagas y enfermedades y pondrá en peligro la productividad alimentaria en muchas regiones.

Las herramientas de gestión del riesgo que se utilizan actualmente en el sector agropecuario, como los seguros y fondos de Emergencia Agropecuaria, no resultan suficientes para gestionar la mayor complejidad, aleatoriedad y resultados imprevistos y desconocidos.

Por un lado, múltiples fuentes de evidencia científica muestran que el cambio climático y las transgresiones de los límites planetarios están cambiando la línea de base de la aleatoriedad (Crona et al., 2021), lo cual reduce la confianza de calcular los riesgos futuros en función de las ocurrencias y probabilidades del pasado.

Por otro lado, las herramientas de gestión de riesgo que dan prioridad a la reducción del riesgo inmediato y a corto plazo, se centran en la variabilidad de los ingresos netos anuales del sistema agropecuario, o en los ingresos netos de un producto específico, y no tienen en cuenta la variación del capital físico y ni la conservación del capital natural, generador de

dichos ingresos. Más aun, como sostienen Pörtner et al. (2022), los instrumentos de corto plazo pueden reducir la oportunidad de adaptación transformacional.

Está bien documentado en la literatura que el paradigma actual de intensificación agropecuaria trae aparejada múltiples externalidades como la reducción de la fertilidad del suelo, la erosión, la contaminación de aguas, la pérdida de recursos genéticos, entre otros (M. Altieri & Nicholls, 2000; Carreño et al., 2009; Pengue, 2009).

A medida que se socava el capital natural, y crece la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios, de no cambiarse de trayectoria los riesgos complejos, compuestos y en cascada impactarán de varias maneras tanto a productores como a los consumidos y al Estado. Por un lado, habrá una presión cada vez mayor sobre la producción y el acceso a los alimentos, lo que socavarán la seguridad alimentaria y la nutrición (Pörtner et al., 2022); por otra parte, habrá una necesidad creciente de financiamiento de Emergencia Agropecuaria, e inclusive los mismos fondos disponibles para atender las situaciones de emergencia, podrían verse reducidos por el impacto de los eventos climáticos adversos, ya que disminuye la recaudación del Estado junto con la producción.

Para afrontar la complejidad e incertidumbre del cambio climático actual y proyectado el IPCC hace un llamado a un *desarrollo resiliente al clima* que promueva el desarrollo sostenible para todos. Implica cuestiones de equidad y transiciones de sistemas, centrándose tanto en el lugar donde se ubican las personas y los ecosistemas, como en la protección y el mantenimiento de la función del ecosistema a escala planetaria. Las vías para promover el desarrollo resiliente al clima son trayectorias de desarrollo que integran con éxito acciones de mitigación (reducción de gases de efecto invernadero) y adaptación (autoaseguramiento) para promover el desarrollo sostenible.

Las medidas de respuesta adaptativa que surgen como resultado de esta investigación se proponen como medidas eficaces para emprender en el área de estudio vías alternativas enmarcadas dentro de este nuevo paradigma. La eficacia en el contexto de la política del cambio climático se refiere al grado en que se anticipa u observa una opción de adaptación para reducir el riesgo relacionado con el clima.

Los principios y prácticas agroecológicos y otros enfoques que funcionan con procesos naturales respaldan la seguridad alimentaria, la nutrición, la salud y el bienestar, los medios

de subsistencia y la biodiversidad, la sostenibilidad y los servicios ecosistémicos, entre los que se incluyen el control de plagas, la polinización, la amortiguación de temperaturas extremas y el secuestro y almacenamiento de carbono (Pörtner et al., 2022).

No obstante, el marco de *Vías* muestra que los caminos que se siguen y los que se dejan de lado es en gran parte una cuestión de gobernanza: una política de narrativas y caminos moldeados por las relaciones de poder y las instituciones (Leach et al., 2010).

Las opciones alternativas se posibilitan cuando los gobiernos, la sociedad civil y el sector privado toman decisiones de desarrollo inclusivas que priorizan la reducción de riesgos, la equidad y la justicia; y cuando los procesos de toma de decisiones, las finanzas y las acciones se integran en una estructura de gobernanza multinivel y multisectorial que integre todos los plazos (Leach et al., 2010; Pörtner et al., 2022).

La *gobernanza adaptativa* tiene como objetivo explícito abordar estos desafíos. Sin embargo, se debe tener la precaución de que en el proceso de deliberación las relaciones de poder-conocimiento sean tales que las personas expresen sus propias subjetividades en términos de marcos estrechos de riesgo o basados en el equilibrio. Por lo tanto, se debe cuidar la forma en que los distintos tipos de conocimiento se incorporan e integran a los procesos de deliberación. El reconocimiento de la **diversidad de sistemas de conocimientos** es un punto importante para comprender el papel que juega la **diversidad en sí misma como cualidad** que permite e impulsa las respuestas al cambio y la sostenibilidad.

6.3 Aportes, limitaciones y futuras investigaciones

Uno de los objetivos de este trabajo fue comprender la complejidad, la dinámica, y los desafíos del conocimiento incompleto para la sostenibilidad los agroecosistemas del Chaco.

Para ello se empleó la heurística del marco *Vías a la Sostenibilidad*, que promueve un enfoque interdisciplinario y participativo evaluación de la sostenibilidad, y pone énfasis en la importancia de incluir diversos sistemas de conocimiento. Sin embargo, el método elegido y la forma en que se aplicó la heurística de *Vías* en este trabajo, privilegió un conjunto particular de conocimiento disciplinario, el de las Ciencias del Suelo, y tuvo en cuenta únicamente el conocimiento experto, insumo necesario, pero no suficiente para la evaluación. Faltó incluir otros cuerpos de conocimiento relevantes, más voces de agricultores,

trabajadores rurales, y otros tipos de usuarios. Esto pudo haber sesgado los resultados hacia las acciones de control, tal como se puede notar en la Figura 5.7.

Además, faltó triangular y validar los resultados con una gama de métodos dispares en paralelo. Aunque los hallazgos obtenidos son consistentes con la literatura sobre sostenibilidad de sistemas agropecuarios.

Por otra parte, la evaluación se concentró en identificar las vías alternativas a la intensificación agropecuaria, pero no se evaluó las ventajas y desventajas de cada vía, ni se consideró los eventuales efectos económicos, sociales y ambientales directos e indirectos, acumulativos y sinérgicos que puede tener cada una de estas vías alternativas.

Otra limitación que presenta este trabajo es que todo el esfuerzo se puso en entender el sistema duro, y no se abordaron los sistemas blandos que también forman parte del sistema socio-ecológico, esto es, las percepciones, valores y preferencias de los tomadores de decisiones, que son, en última instancia, quienes conducen los sistemas agropecuarios por las distintas trayectorias.

Sin embargo, a pesar de todas estas limitaciones, esta investigación aporta un análisis reflexivo de las prácticas agronómicas y de gestión que se realizan en el territorio e introduce la gestión del conocimiento incompleto en sistemas agropecuarios en el territorio, para profundizar la forma de implementarlo en futuras investigaciones.

Esta investigación también aporta una metodología de aplicación de la heurística de Vías a las Sostenibilidad, que puede adaptarse muy bien para trabajar en un contexto interdisciplinario y participativo.

Dado que los procesos de aprendizaje son centrales a la gestión del conocimiento incompleto, es de suma importancia continuar con nuevas líneas de investigación que aborden de las formas de aprendizaje social en los sistemas agropecuarios del área de estudio.

Asimismo, queda para futuras investigaciones ampliar la base de los conocimientos que sirven de insumo a la evaluación de la sostenibilidad que abra nuevas vías, mediante la inclusión de tipos diversos de conocimientos y la ampliación de la participación en la evaluación.

6.4 Descargo

Los errores cometidos al utilizar los conceptos y términos que pertenecen a las Ciencias Naturales o del Suelo son míos, y no provienen de la información aportada por los informantes calificados.

BLIOGRAFIA

- Acosta-Alba, I., López-Ridaura, S., van der Werf, H. M. G., Leterme, P., & Corson, M. S. (2012). Exploring sustainable farming scenarios at a regional scale: An application to dairy farms in Brittany. *Journal of Cleaner Production*, 28, 160-167. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.061>
- Adger, W. N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D. R., Naess, L. O., Wolf, J., & Wreford, A. (2009). Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change*, 93(3-4), Article 3-4. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9520-z>
- Allen, C. R., Fontaine, J. J., Pope, K. L., & Garmestani, A. S. (2011). Adaptive management for a turbulent future. *Journal of Environmental Management*, 92(5), Article 5. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.019>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología Y Resiliencia Al Cambio Climático: Principios Y Consideraciones Metodológicas. *Agroecología*, 8, 7-20.
- Altieri, M., & Nicholls, C. I. (Eds.). (2000). *Agroecología: Teoría Y Práctica Para Una Agricultura Sustentable* (1° Edición). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente / Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.
- Alvarez, S., Paas, W. H., Descheemaeker, K. K. E., Tittonell, P. A., & Groot, J. C. J. (2014). *Construcción de tipologías, una forma de manejar la diversidad de las fincas: Directrices generales para Humidtropics*. Wageningen UR.
- Anderies, J. M., Folke, C., Walker, B., & Ostrom, E. (2013). Aligning Key Concepts for Global Change Policy: Robustness, Resilience, and Sustainability. *Ecology and Society*, 18(2), art8. <https://doi.org/10.5751/ES-05178-180208>

- Anderies, J. M., Janssen, M. A., & Ostrom, E. (2004). A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems from an Institutional Perspective. *Ecology and Society*, 9(1), art18. <https://doi.org/10.5751/ES-00610-090118>
- Argyris, C., & Schön, D. (1996). *Organizational Learning II: Theory, Method and Practice*. Addison-Wesley.
- Arthur, W. B. (1989). Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The economic journal*, 99(394), 116-131.
- Artieda, O. (2008). Papel del suelo en el ciclo hidrológico. *Forum de Sostenibilidad*, 2, 19-31.
- Babchuk, W. A. (1996). Glaser or Strauss? Grounded theory and adult education. *Proceedings of the 15th Annual Midwest Research-to-Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education*, 12(2), 1-6.
- Banco Mundial. (2013). *CHACO Cotton Agricultural Insurance Feasibility Study Final Report*.
- Barrios, B. E. (2015). *Tres momentos críticos de la Teoría Fundamentada Clásica*. 16(1), 17.
- Bavera, G. A. (2006). *Equivalencias Ganaderas*. Recopilación para el Curso de Producción Bovina de Carne, de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/70-equivalencias_ganaderas.pdf
- Beiderbeck, D., Frevel, N., von der Gracht, H. A., Schmidt, S. L., & Schweitzer, V. M. (2021). Preparing, conducting, and analyzing Delphi surveys: Cross-disciplinary practices, new directions, and advancements. *MethodsX*, 8, 101401. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101401>
- Berkes, F., & Folke, C. (1998). Linking social and ecological systems for resilience and sustainability. *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*, 1(4).

- Blanco, H., & Lal, R. (2010). *Principles of soil conservation and management* (Vol. 167169). Springer New York.
- Brady, S. R. (2015). Utilizing and Adapting the Delphi Method for Use in Qualitative Research. *International Journal of Qualitative Methods*, 14(5), 160940691562138. <https://doi.org/10.1177/1609406915621381>
- Brest, E. F., Zurita, J. J., & López, A. E. (2019). *Zonificación De Suelos En Grupos De Riesgo*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Brundtland, G. H. (1987). *Our common future: Report of the world commission on environment and development* (Vol. 9). Oxford University Press.
- Cabell, J., & Oelofse, M. (2012). An Indicator Framework for Assessing Agroecosystem Resilience. *Ecology and Society*, 17(1). <https://doi.org/10.5751/ES-04666-170118>
- Carmona, A., Nahuelhual, L., Echeverría, C., & Báez, A. (2010). Linking farming systems to landscape change: An empirical and spatially explicit study in southern Chile. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139(1-2), 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.06.015>
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, 4(8), 765-781.
- Carreño, L. V., Pereyra, H., & Viglizzo, E. F. (2009). Los servicios ecosistémicos en áreas de transformación agropecuaria intensiva. En *El Chaco sin Bosques: La Pampa o el Desierto del Futuro* (p. 229 a 248). UNESCO, MAB, GEPAMA. Orientación Gráfica Editora SRL: Buenos Aires, Argentina.
- Carvalho, P. C. de F., Peterson, C. A., Nunes, P. A. de A., Martins, A. P., de Souza Filho, W., Bertolazi, V. T., Kunrath, T. R., de Moraes, A., & Anghinoni, I. (2018). Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: Toward sustainable intensification. *Journal of Animal Science*, 96(8), 3513-3525. <https://doi.org/10.1093/jas/sky085>
- Castro, N., Rúa Franco, M., & Cristiano, G. (2020). Tecnología Pastoreo Racional Voisin: Una herramienta para incrementar la productividad ganadera en el sudoeste

- bonaerense y contribuir con el ambiente. Estudio de caso. *Cuyonomics. Investigaciones en Economía Regional*, 4(6). <https://doi.org/10.48162/rev.42.023>
- Chhetri, N. B., Easterling, W. E., Terando, A., & Mearns, L. (2010). Modeling Path Dependence in Agricultural Adaptation to Climate Variability and Change. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(4), 894-907. <https://doi.org/10.1080/00045608.2010.500547>
- Clavel, L., Soudais, J., Baudet, D., & Leenhardt, D. (2011). Integrating expert knowledge and quantitative information for mapping cropping systems. *Land Use Policy*, 28(1), 57-65.
- Collinson, M. (2000). *A history of farming systems research*. CABI.
- Cox, M. (2016). The pathology of command and control: A formal synthesis. *Ecology and Society*, 21(3).
- Creswell, J. W. (2007). *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches* (2nd. Ed.). <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1524839915580941>
- Crona, B., Folke, C., & Galaz, V. (2021). The Anthropocene reality of financial risk. *One Earth*, 4(5), 618-628. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.04.016>
- Cuadra, D. E. (2012). La Problemática Forestal en la Provincia del Chaco, Argentina. Un Análisis Desde la Geografía. *Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE., Año 9, N°18.* <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo18/archivos/cuadra12.pdf>
- Cuadra, D. E. (2014). *La extracción forestal en el Chaco antes y después de la vigencia de la nueva ley de bosques*. 9.
- Darnhofer, I. (2014). Resilience and why it matters for farm management. *European Review of Agricultural Economics*, 41(3), 461-484. <https://doi.org/10.1093/erae/jbu012>
- Darnhofer, I., Fairweather, J., & Moller, H. (2010). Assessing a farm's sustainability: Insights from resilience thinking. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8(3), 186-198. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0480>

- Darnhofer, I., Gibbon, D., & Dedieu, B. (2012a). Farming Systems Research: An approach to inquiry. En I. Darnhofer, D. Gibbon, & B. Dedieu (Eds.), *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic* (pp. 3-31). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_1
- Darnhofer, I., Gibbon, D., & Dedieu, B. (2012b). *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer Science & Business Media.
- Darnhofer, I., Lamine, C., Strauss, A., & Navarrete, M. (2016). The resilience of family farms: Towards a relational approach. *Journal of Rural Studies*, *44*, 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.01.013>
- Day, J., & Bobeva, M. (2005). *A Generic Toolkit for the Successful Management of Delphi Studies*. *3*(2), 14.
- Entz, M. H., Bellotti, W. D., Powell, J. M., Angadi, S. V., Chen, W., Ominski, K. H., & Boelt, B. (2005). Evolution of Integrated Crop-Livestock Production Systems. *International Grassland Congress Proceedings*, 137-148.
- Eswaran, H., Lal, R., & Reich, P. F. (2001). Land degradation: An overview. En *Response to Land Degradation*. CRC Press.
- Fahad, S., Chavan, S. B., Chichaghare, A. R., Uthappa, A. R., Kumar, M., Kakade, V., Pradhan, A., Jinger, D., Rawale, G., Yadav, D. K., Kumar, V., Farooq, T. H., Ali, B., Sawant, A. V., Saud, S., Chen, S., & Poczai, P. (2022). Agroforestry Systems for Soil Health Improvement and Maintenance. *Sustainability*, *14*(22), 14877. <https://doi.org/10.3390/su142214877>
- FAO. (2015). *World Reference Base for Soil Resources 2014. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. Update 2015*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: El potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura - FAO. <https://www.fao.org/3/i6937es/I6937ES.pdf>

- FAO. (2023a). *Propiedades Biológicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-biologicas/es/>
- FAO. (2023b). *Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO. (2023c). *Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society*, 15(4), Article 4. <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 30, 441-473.
- Formaggio, L. F. (2021, mayo 3). ¿Qué es el ciclo hidrológico? – Revista Ciencias de la Tierra. *Revista Ciencias de la Tierra*. <https://revistacienciasdelatierra.com/geociencias/el-ciclo-hidrologico/9149/>
- Forsyth, D. (2010). Delphi Technique. En *Encyclopedia of Group Processes & Intergroup Relations* (Vol. 1, pp. 195-197). SAGE Publications. <https://scholarship.richmond.edu/jepson-faculty-publications/194>
- Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research* (Aldine).
- Gomiero, T., Giampietro, M., & Mayumi, K. (2006). Facing complexity on agro-ecosystems: A new approach to farming system analysis. *International Journal of Agricultural*

- Resources, Governance and Ecology*, 5(2/3), 116.
<https://doi.org/10.1504/IJARGE.2006.009160>
- Grulke, M., Brassiolo, M., Díaz Lanes, F., Obst, K., Ortiz, G., Soto, G., & Michela, J. (2007). *Manual Para El Manejo Forestal Sustentable De Los Bosques Nativos De La Provincia Del Chaco*. Subsecretaría de Recursos Naturales de la Provincia del Chaco.
<http://rnaturaleschaco.gob.ar/institucional/>
- Guarino, G. (2009). Desde acá y hacia allá: Entre el presente y la evocación de una colonia rural toba en la provincia del Chaco. *Nordeste*, 29, 101-116.
- Gunderson, L. H., & Holling, C. S. (2002). *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems*. Island press.
- Gustafson, D. H., Delbecq, A. L., & Van de Ven, A. H. (1986). *Group techniques for program planning-a guide to nominal group and Delphi processes*.
- Hartemink, A. E. (2016). The definition of soil since the early 1800s. En *Advances in Agronomy* (Vol. 137, pp. 73-126). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.001>
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 1-23.
- Holling, C. s., & Meffe, G. K. (1996). Command and Control and the Pathology of Natural Resource Management. *Conservation Biology*, 10(2), 328-337.
<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10020328.x>
- Howard, K. J. (2018). Emergence of a new method: The Grounded Delphi method. *Library and Information Research*, 42(126), 5-31. <https://doi.org/10.29173/lirg746>
- Hsu, C.-C., & Sandford, B. A. (2007). The Delphi technique: Making sense of consensus. *Practical assessment, research, and evaluation*, 12(1), 10.
- Kates, R. W., Travis, W. R., & Wilbanks, T. J. (2012). Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(19), 7156-7161.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1115521109>

- Kunst, C., Ledesma, R., & Navall, M. (Eds.). (2008). *Rolado Selectivo de Baja Intensidad. Resultados 1997-2007 de Investigación Aplicada, Experimentación Adaptativa y Transferencia en: Interacción suelos – vegetación herbácea y leñosa e integración entre ganadería y actividad forestal.*
- Lal, R. (2012). Climate Change and Soil Degradation Mitigation by Sustainable Management of Soils and Other Natural Resources. *Agricultural Research*, 1(3), 199-212. <https://doi.org/10.1007/s40003-012-0031-9>
- Lal, R., & Stewart, B. A. (1990). Soil degradation: A global threat. *Advances in soil science*, 2.
- Larson, C. S. (2016). Evidence of Shared Aspects of Complexity Science and Quantum Phenomena. *Cosmos and History: The Journal of Natural and Social Philosophy*, 12(2), 160-171.
- Leach, M., Stirling, A. C., & Scoones, I. (2010). *Dynamic sustainabilities: Technology, environment, social justice.* Routledge.
- Ledesma, L. L., Barbona, S. A., Cipolini, F., Díaz, J. F., Gallovich, J. A., Gelin, A. E., Margosa, L. A., Matijasevich, P., Muravschik, C., Pato, M. A., Rodríguez, F. J., Roibon, J. E., & Velede, J. D. (1979). *Los Suelos Del Departamento Maipu Provincia Del Chaco. Carta de Suelos de la República Argentina.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Linstone, H. A., & Turoff, M. (1975). *The delphi method.* Addison-Wesley Reading, MA.
- Maarleveld, M., & Dangbegnon, C. (1999). Managing natural resources: A social learning perspective. *Agriculture and Human Values*, 16, 267-280.
- Madry, W., Mena, Y., Roszkowska-Mądra, B., Gozdowski, D., Hryniewski, R., & Castel, J. M. (2013). An overview of farming system typology methodologies and its use in the study of pasture-based farming system: A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(2), 316-326. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013112-3295>
- Martin, G., Moraine, M., Ryschawy, J., Magne, M.-A., Asai, M., Sarthou, J.-P., Duru, M., & Therond, O. (2016). Crop–livestock integration beyond the farm level: A review.

- Agronomy for Sustainable Development*, 36(3), 53. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0390-x>
- Morello, J. H., & Rodríguez, A. F. (Eds.). (2009). *El Chaco Sin Bosques: La Pampa O El Desierto Del Futuro* (1° Ed.). Orientación Gráfica Editora. <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002167/216727s.pdf>
- MyCS IF. (2018). *Material Teórico. Unidad Didáctica N°3: Erosión Hídrica*. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Curso Manejo y Conservación de Suelos. Ingeniería Forestal.
- Navall, M., Peri, P., Merletti, G., Mónaco, M., Carranza, C., & Medina, A. (2016). *Acuerdo MBGI: una iniciativa para devolver el significado a los “Sistemas Silvopastoriles” sobre Bosques Nativos*. Colegio de Graduados en Ciencias Forestales de Santiago del Estero.
- North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge university press.
- Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. *Information & Management*, 42(1), 15-29. <https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>
- Pahl-Wostl, C. (2009). A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*, 19(3), 354-365. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001>
- Päivärinta, T., Pekkola, S., & Moe, C. E. (2011). *Grounding Theory from Delphi Studies*. 14.
- Pelling, M. (2010). *Adaptation to climate change: From resilience to transformation*. Routledge.
- Pengue, W. (2009). El Desarrollo Rural Sostenible y los procesos de agriculturización, ganaderización y pampeanización en la llanura Chaco-Pampeana. En *El Chaco Sin Bosques* (1° Edición, p. 111 a 142). Orientación Gráfica Editora.
- Perevolotsky, A. (1990). Goat production systems in Piura, Peru: A multidisciplinary analysis. *Agricultural Systems*, 32(1), 55-81.

- Peri, P. L., Banegas, N., Gasparri, I., Carranza, C. H., Rossner, B., Pastur, G. M., Cavallero, L., López, D. R., Loto, D., Fernández, P., Powel, P., Ledesma, M., Pedraza, R., Albanesi, A., Bahamonde, H., Ecclesia, R. P., & Piñeiro, G. (2017). Carbon Sequestration in Temperate Silvopastoral Systems, Argentina. En F. Montagnini (Ed.), *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty* (Vol. 12, pp. 453-478). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69371-2_19
- Peri, P. L., Martínez Pastur, G., & Schlichter, T. (2021). *Uso Sostenible Del Bosque: Aportes Desde La Silvicultura Argentina* (1° edición especial).
- Peri, P. L., & Navall, M. (2022). Sistemas Silvopastoriles En Bosque Nativo. En *Sistemas Agroforestales en Argentina* (pp. 152-207). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Pernochi, L., Colcombet, L., Egolf, M., & Atanasio, M. A. (2021). Variabilidad De Los Resultados Financieros De Sistemas Silvopastoriles Con Algarrobo Blanco, Que Parten Desde Ganadería Y Forestación Pura En Función De Cuatro Situaciones. *XI Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles*, 353-364.
- Pierson, P. (2000). The Limits of Design: Explaining Institutional Origins and Change. *Governance*, 13(4), 475-499. <https://doi.org/10.1111/0952-1895.00142>
- Piscitelli, M. (2015, julio 15). *Degradación de suelos*. UNICEN Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. <https://www.unicen.edu.ar/content/degradaci%C3%B3n-de-suelos>
- Ponce, A. J. T. (2020). *Pastoreo Racional Voisin (PRV) como un sistema de producción sostenible*.
- Pörtner, Hans-Otto, Roberts, D. C., Poloczanska, E. S., Mintenbec, K., Tignor, M., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., & Okem, A. (Eds.). (2022). IPCC, 2022: Summary for Policymakers. En *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3-33). Cambridge University Press.

- RAND Corporation. (2022). *Delphi Method*. <https://www.rand.org/topics/delphi-method.html>
- Resilience Alliance. (2010). *Assessing resilience in social-ecological systems: Workbook for practitioners. Version 2.0*.
- Rickards, L., & Howden, S. M. (2012). Transformational adaptation: Agriculture and climate change. *Crop and Pasture Science*, 63(3), 240. <https://doi.org/10.1071/CP11172>
- Sánchez, J. M. (2022). Principios De Agricultura Sintrópica Aplicables En Sistemas Agroforestales. En *Sistemas Agroforestales En Argentina* (pp. 60-86). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Schiere, J. B., Darnhofer, I., & Duru, M. (2012). Dynamics in farming systems: Of changes and choices. En I. Darnhofer, D. Gibbon, & B. Dedieu (Eds.), *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic* (pp. 337-363). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_15
- Schiere, J. B., & Grasman, J. (1996). Agro-ecosystem health: Aggregation of systems in time and space. *Proceedings of a Seminar on Agro-Ecosystem Health. Wageningen*, 26, 22-36.
- Scoones, I. (2015). Transforming soils: Transdisciplinary perspectives and pathways to sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15, 20-24. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.07.007>
- Scoones, I., Leach, M., Smith, A., Stagl, S., Stirling, A., & Thompson, J. (2007). *Dynamic systems and the challenge of sustainability*.
- Scott, J. C. (1998). *Seeing Like a State. How Certain Schemes to Improve the Human Condition Have Failed*. Yale University Press.
- Scott, J. C., & Glaser, B. G. (1971). The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research. *American Sociological Review*, 36(2), 335. <https://doi.org/10.2307/2094063>

- Sharry, S. E. (2022). Clasificación De Los Sistemas Agroforestales. En *Sistemas Agroforestales en Argentina* (pp. 27-59). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Sharry, S. E., Stevani, R. A., & Galarco, S. P. (Eds.). (2022). *Sistemas Agroforestales En Argentina*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Stirling, A. (1999). The appraisal of sustainability: Some problems and possible responses. *Local Environment*, 4(2), 111-135. <https://doi.org/10.1080/13549839908725588>
- Strauss, A., & Corbin, J. (1990). *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*. SAGE.
- Strauss, A. L., & Corbin, J. (2012). *Bases de la investigación cualitativa: Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Universidad de Antioquía.
- Suttie, J. M. (2003). *Conservación De Heno Y Paja Para Pequeños Productores Y En Condiciones Pastoriles*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <https://www.fao.org/3/x7660s/x7660s00.htm#Contents>
- Tugel, A. J., Herrick, J. E., Brown, J. R., Mausbach, M. J., Puckett, W., & Hipple, K. (2005). Soil Change, Soil Survey, and Natural Resources Decision Making: A Blueprint for Action. *Soil Science Society of America Journal*, 69(3), 738-747. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0163>
- Turner, J. R., & Baker, R. M. (2019). Complexity Theory: An Overview with Potential Applications for the Social Sciences. *Systems*, 7(1), 4. <https://doi.org/10.3390/systems7010004>
- Urruty, N., Tailliez-Lefebvre, D., & Huyghe, C. (2016). Stability, robustness, vulnerability and resilience of agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 15. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0347-5>
- van Apeldoorn, D., Kok, K., Sonneveld, M., & Veldkamp, T. (2011). Panarchy Rules: Rethinking Resilience of Agroecosystems, Evidence from Dutch Dairy-Farming. *Ecology and Society*, 16(1). <https://doi.org/10.5751/ES-03949-160139>

- Van de Steeg, J. A., Verburg, P. H., Baltenweck, I., & Staal, S. J. (2010). Characterization of the spatial distribution of farming systems in the Kenyan Highlands. *Applied Geography*, 30(2), 239-253.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S., & Kinzig, A. (2004). Resilience, Adaptability and Transformability in Social–ecological Systems. *Ecology and Society*, 9(2). <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>
- Walker, B., & Salt, D. (2012). *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*. Island Press.
- Wassénus, E., & Crona, B. I. (2022). Adapting risk assessments for a complex future. *One Earth*, 5(1), 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.12.004>
- Weigelt, J., Müller, A., Janetschek, H., & Töpfer, K. (2015). Land and soil governance towards a transformational post-2015 Development Agenda: An overview. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.08.005>
- Zaccagnini, E. A., Wilson, M. G., & Oszust, J. D. (Eds.). (2014). *Manual De Buenas Prácticas Para La Conservación Del Suelo, La Biodiversidad Y Sus Servicios Ecosistémicos* (1° Edición). Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)-Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación-INTA.

ANEXOS

ANEXO I. Ley de Bosques en la provincia del Chaco

La Ley N° 26.331 de “Presupuestos mínimos de protección ambiental para el enriquecimiento, la restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos”, también conocida como “Ley de Bosques”, fue sancionada y promulgada en 2007 y reglamentada en 2009.

De acuerdo a la Ley de Bosques las provincias realizaron, mediante un proceso participativo, el ordenamiento territorial de sus bosques nativos (OTBN) donde categorizaron los usos posibles para las tierras boscosas. Como resultado de este proceso, se determinaron tres tipos de zonas o categorías:

Categoría I (rojo): sectores de muy alto valor de conservación que no deben desmontarse ni utilizarse para la extracción de madera y que deben mantenerse como bosque para siempre. Incluirá las reservas naturales y sus áreas circundantes, que tengan valores biológicos sobresalientes, y/o sitios que protejan cuencas hídricas de importancia (nacientes de ríos y arroyos).

Categoría II (amarillo): sectores de alto o medio valor de conservación, que pueden estar degradados pero que, si se los restaura, pueden tener un valor alto de conservación. Estas áreas no pueden desmontarse, pero podrán ser sometidos a los siguientes usos: aprovechamiento sostenible, turismo, recolección e investigación científica.

Categoría III (verde): sectores de bajo valor de conservación que pueden transformarse parcialmente o en su totalidad, con la previa realización de una Evaluación de Impacto Ambiental.

La provincia del Chaco, dio cumplimiento a la Ley N° 26.331 mediante la sanción de la ley provincial N° 6.409 del año 2009, el decreto reglamentario N° 932 del año siguiente y su modificatorio N° 81/11.

De acuerdo a estas normas, se habilitan las siguientes prácticas para las diferentes categorías del OTBN:

Categoría I (Rojo): incluye actividades que contemplen la protección y mantenimiento de las funciones ambientales, de las comunidades biológicas y de su diversidad, sin afectar lo

que contengan en materia de flora, fauna ni su superficie. Tales actividades comprenden a las vinculadas con la observación, investigación, recreación, conservación y protección, turismo, restauración ecológica o enriquecimiento del bosque. Las actividades de recolección están circunscriptas a la extracción sostenible de productos no maderables, tales como simientes, polen, propágulos u otros elementos de la flora y fauna con fines de investigación, conservación en bancos genéticos o de reproducción con fines a la provisión del abastecimiento de planes forestales. No se admiten trabajos que impliquen la afectación y/o conversión de los bosques, excepto aquellos vinculados a planes o proyectos de infraestructura pública y/o planes o proyectos de la esfera pública o privada vinculados a la concreción de mejoras, sistematizaciones, caminos y sendas, cortafuegos, áreas de vigilancia y monitoreo u otras estrictamente justificadas en función del bienestar general. Las actividades se desarrollan conforme la aprobación de un **Plan de Conservación**.

Categoría II (Amarillo): se podrán desarrollar las actividades comprendidas en la categoría I, más las que pueden ejecutarse conforme la aprobación de un **Plan de Manejo Sostenible**, y/o plan de aprovechamiento del cambio de uso del suelo, en el porcentaje remanente determinado por el artículo 6º inciso b) -área sin conservación-, el cual incluye a las que posibiliten el mantenimiento de la cobertura boscosa nativa, su restauración o enriquecimiento, forestación y reforestación.

La presentación y aprobación de los Planes de Manejo Sostenible, se realizan de acuerdo con dos variantes según las siguientes precisiones:

b.1. Aprovechamiento forestal: puede ser ejecutado en el cien por ciento 100% de la cobertura boscosa existente y se obligará a la ejecución de prácticas silvícolas que garanticen la sostenibilidad en el cien por ciento (100%) del bosque aprovechado.

b.2. Aprovechamiento silvopastoril: puede ser ejecutado hasta un porcentaje del cincuenta por ciento (50%) de la superficie boscosa del inmueble, siempre que el mismo no se ejecute sobre las áreas lindantes de zonas pertenecientes a la Categoría I (Rojo).

Categoría III (Verde): las actividades que se pueden desarrollar son todas aquellas que correspondan a los de la categoría I y II, y/o las que pudieran ejecutarse conforme la aprobación de un “**Plan de Aprovechamiento del Cambio de Uso del suelo**”, el cual puede contemplar la realización de desmontes con fines agropecuarios y/o forestales, para la

concreción de infraestructura públicas o privadas, aguadas, represas, caminos, urbanizaciones y sistematizaciones prediales. Los desmontes con fines agropecuarios pueden ser autorizados de acuerdo con los criterios condicionantes que resulten, además de otros establecidos, de las características de los suelos, el clima, y el relieve.

No se autorizan desmontes con fines agropecuarios en áreas lindantes a las áreas clasificadas como Categoría I (Rojo), ni en los márgenes de los ríos, de acuerdo a lo establecido por la ley 3.230 (Código de Aguas de la Provincia del Chaco).

Planes forestales – Dirección de Bosques de la Provincia del Chaco

- *Manejo Sostenible variante Aprovechamiento Forestal*

Es la extracción de productos y subproductos provenientes de masas forestales manteniendo el rendimiento normal del bosque mediante la aplicación de técnicas silvícolas que permiten la renovación y persistencia del recurso de acuerdo a las posibilidades que las mismas presentan. Se incluyen en esta definición aquellas masas nativas e implantadas (de especies nativas y/o exóticas).

- *Manejo Sostenible variante Silvopastoril*

Son prácticas Silvícolas a que es sometido un bosque; limpieza del sotobosque, eliminación de ejemplares indeseables – torcidos, enfermos -, aprovechamiento de las especies en diámetro de corta, raleos y podas. Como resultado queda en pie un bosque con la suficiente cantidad de plantas que posibiliten la perpetuidad del monte nativo, a la vez que la apertura de la masa boscosa, favorece su crecimiento y regeneración, posibilitando un mayor desarrollo de las pasturas naturales y/o artificiales.

- *Aprovechamiento Cambio de Uso del Suelo*

Es la conversión de áreas boscosas en tierras aptas para el uso agropecuario, dejando cortinas forestales en proporción

- *Deslindes Perimetrales y Transversales para Mejoras*

Constituye una mejora del predio, permitiendo un mejor manejo y control forestal como ganadero. Actuando como cortafuego y favoreciendo la protección y sustentabilidad del monte nativo.

- *Limpieza Áreas Quemadas y/o Especies Invasoras*

Extracción de aquellas especies que han ocupado una antigua chacra.

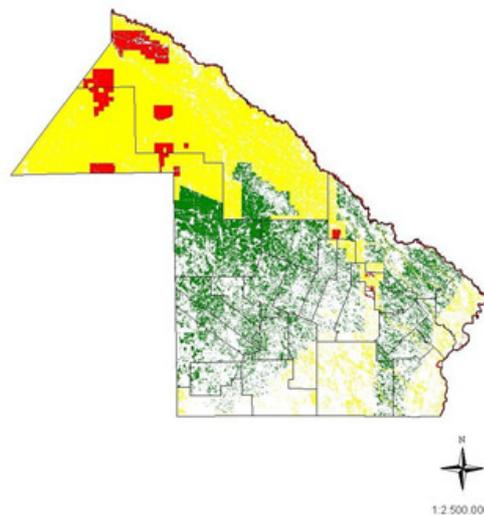
- *Extracción de Maderas Muertas*

Aprovechamiento sobre restos y despuntes de aprovechamiento de varios años, como así también árboles muertos en pie.

- *Mejoras Propias*

Se otorgan sólo a titulares de predios y constituyen sistematizaciones de los mismos (picadas, alambrados, aguadas, etc.) que parcialmente afectan a la masa boscosa. Se aprovechan ejemplares para ser utilizado dentro del predio, con el objetivo de mejorar su instalación.

Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos de la Provincia del Chaco

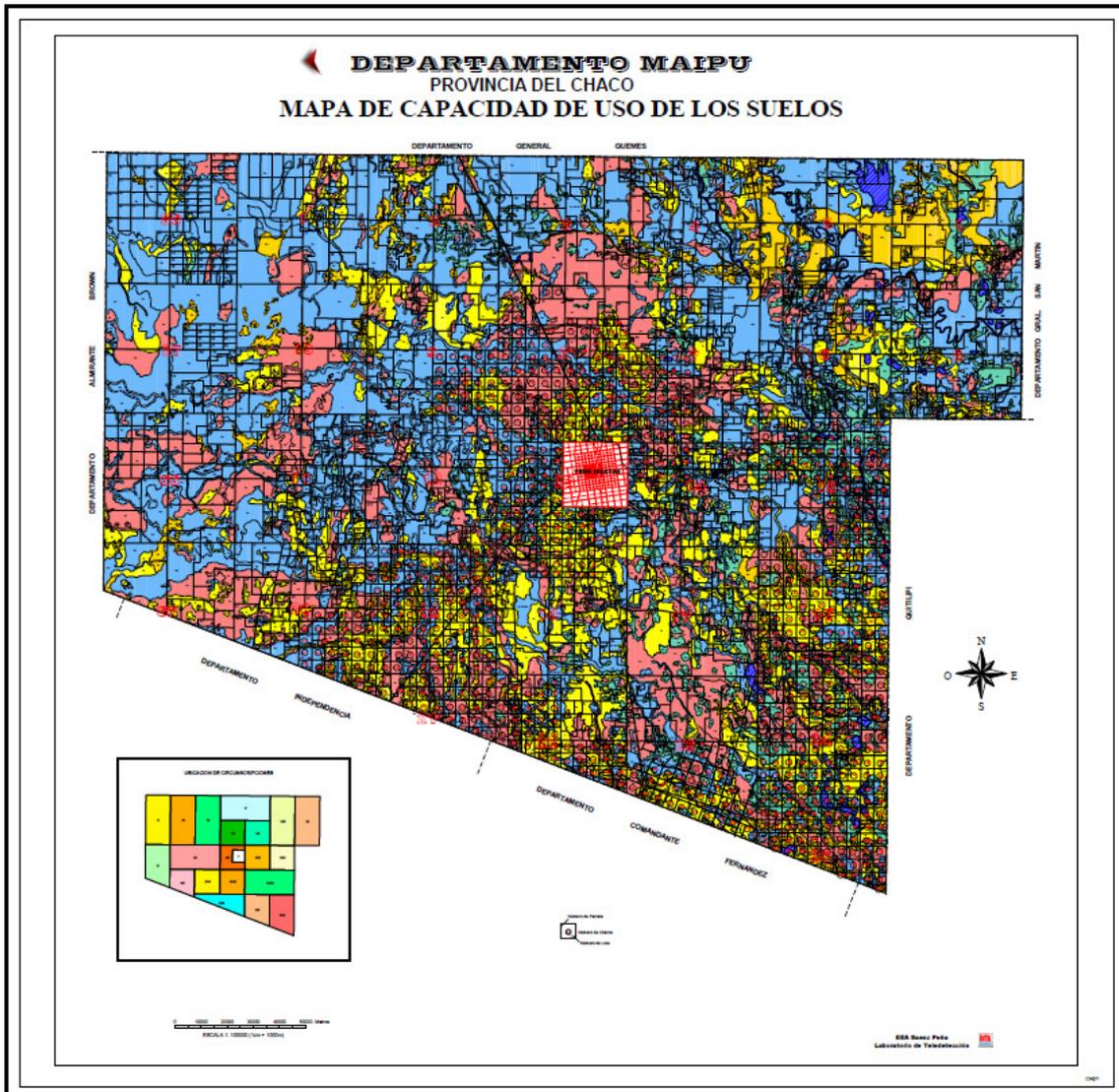


Fuente: REDAF (2018)

Cabe mencionar que desde el año 2014 y hasta la fecha de hoy la Provincia del Chaco tiene vencido su OTBN, ya que la Le de Bosques prevé que cada cinco años se actualice el mapa

del ordenamiento territorial. Este trabajo se hace en base al inventario forestal de la Provincia, comparando en inventario del año 2009 con el inventario actual. A la fecha no hay un proyecto de Ley de actualización que obtenga el consenso de todos los sectores y partes interesadas.

Anexo II. Mapa de capacidad de uso de los suelos del Departamento Maipú



Fuente: Ledesma et al. (1979)

LEYENDA DEL MAPA DE CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS

| | | | | |
|---|--------------------|--|---------|---------------------|
|  | Clase II | Agricultura con ligeras limitaciones o ligeros riesgos. Prácticas simples. Rotaciones E-E-E-C-F. | | |
| | | | IIe | 31.748ha 10,91% |
| | | | IIs | 29.629ha 10,19% |
| | | | | 61.377ha 21,10% |
|  | Clase III | Agricultura con limitaciones o riesgos moderados. Prácticas más complejas. Rotaciones E- E- C- F. | | |
| | | | IIIe | 48.900ha 16,81% |
| | | | IIIs | 21.960ha 7,55% |
| | | | IIIh | 2.450ha 0,84% |
| | | | | 73.310ha 25,20% |
|  | Clase IV | Agricultura con limitaciones o riesgos severos. Principalmente erosión, sales, anegabilidad. Rotación E- C- F ó E- C- F- F | | |
| | | | IVe | 64.455ha 22,16% |
| | | | IVs | 44.758ha 15,38% |
| | | | IVh | 7.577ha 2,60% |
| | | | | 116.790ha 40,14% |
|  | Clase V | No apto para agricultura. El mejor uso es la pastura permanente. | | |
| | | | Vh | 19.747ha 6,79% |
|  | Clase VI | Limitaciones moderadas para pasturas permanentes. Ligeras limitaciones para forestales. | | |
| | | | VIe | 9.217ha 3,17% |
| | | | VIs | 4.553ha 1,56% |
| | | | VIh | 1.130ha 0,39% |
| | | | | 14.900ha 5,12% |
|  | Agua | | 2.314ha | 0,80% |
|  | Misceláneas | | 2.485ha | 0,85% |

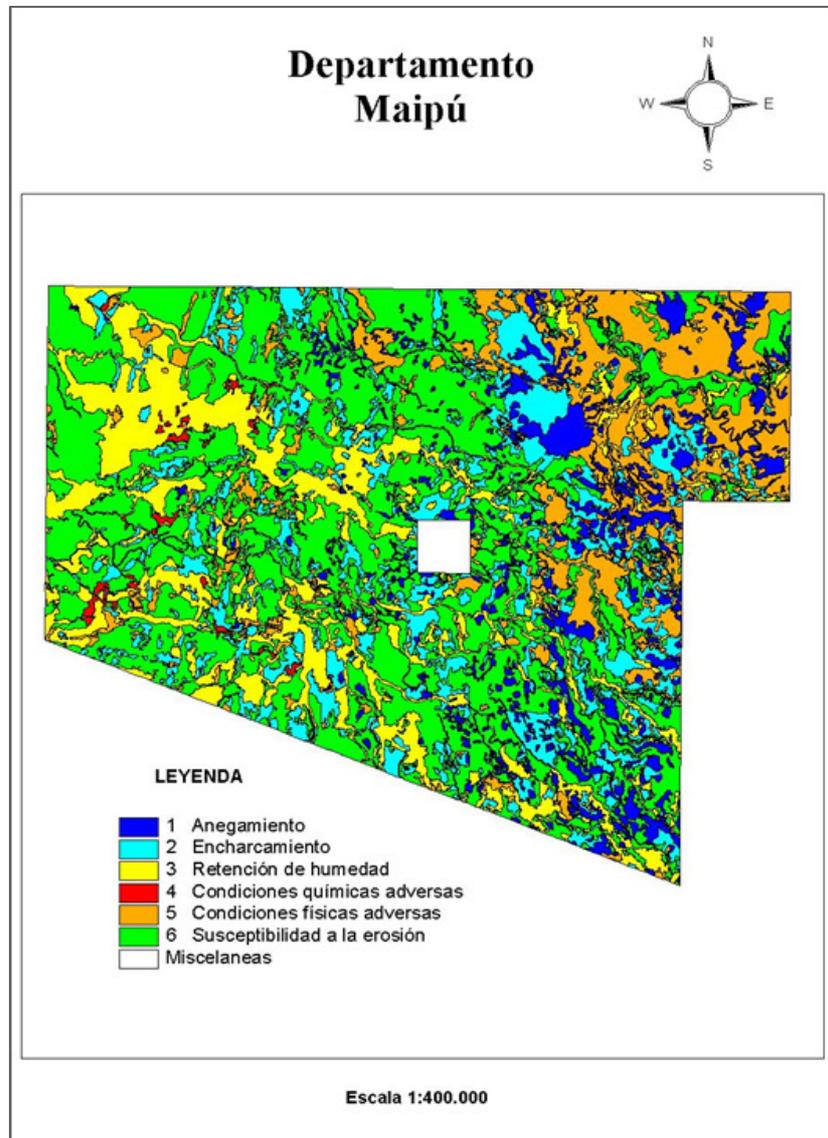
Nota : E Cultivos de escarda tales como algodón, maíz, girasol, sorgo granífero.
 C Cultivos compactos tales como cereales, sorgos forrajeros, etc.
 F Forrajeras (gramíneas y/o leguminosas).

Subclase e : Erosión y riesgo de erosión.

Subclase h : Exceso de agua en el perfil o en superficie.

Subclase s : Condiciones desfavorables del suelo en la zona de raíces, tales como salinidad, alcalinidad, capacidad de retención de agua, etc.

Anexo III. Mapa de los riesgos agro-edafológicos de los suelos del Departamento Maipú.



Fuente: Brest et al. (2019)

Anexo IV. Registro de Precipitaciones

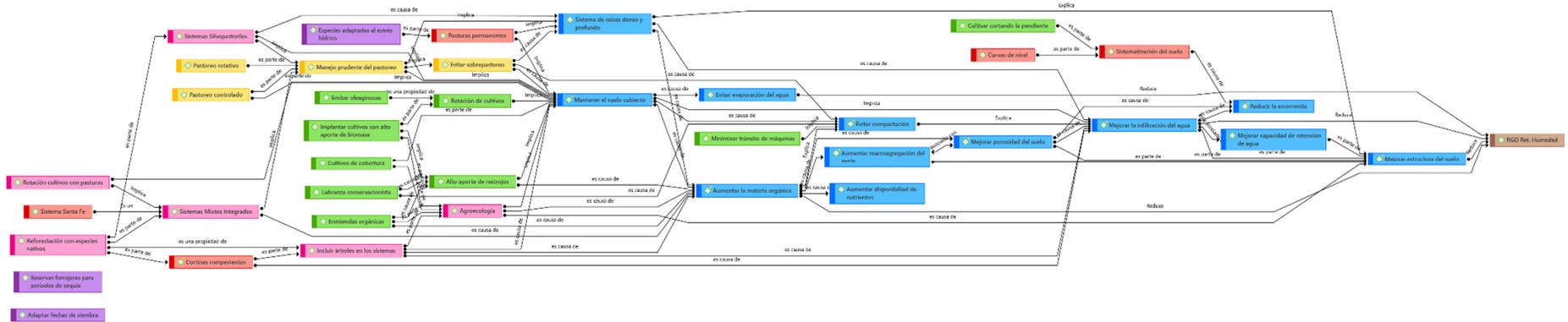
| LOCALIDAD: Tres Isletas | | | | | | | | Latitud | | 26° 20' 11" | | | |
|------------------------------|-----------|---------|-----------|-----------|-------|---------|-------|----------|------|-------------|-------|--------|-------|
| CUENCA: 7- Polvorín-Palometa | | | | | | | | Longitud | | 60° 25' 51" | | | |
| DEPARTAMENTO: Maipú | | | | | | | | Altitud | | 98 msnm | | | |
| Años | Setiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Total |
| 1954/1955 | 55 | 75 | 17 | 73 | 14 | 97 | 499 | 55 | 17 | 20 | 12 | - | 934 |
| 1955/1956 | - | 40 | 40 | 69 | 82 | 86 | 106 | 74 | - | - | 1 | 68 | 566 |
| 1956/1957 | 6 | 103 | 69 | 50 | 78 | 172 | 154 | 111 | 51 | 16 | - | 26 | 836 |
| 1957/1958 | 25 | 110 | 108 | 206 | 18 | 138 | 128 | 104 | 15 | - | 89 | 27 | 968 |
| 1958/1959 | 40 | 21 | 218 | 271 | 215 | 209 | 118 | 92 | 143 | 6 | 76 | 17 | 1.423 |
| 1959/1960 | 173 | 124 | 71 | 145 | 91 | 27 | 151 | 137 | - | 62 | 5 | 109 | 1.094 |
| 1960/1961 | 5 | 260 | 58 | 44 | 101 | 306 | 106 | 101 | 123 | 5 | 16 | 8 | 1.133 |
| 1961/1962 | 8 | 48 | 166 | 119 | 219 | 142 | 152 | 100 | 117 | - | 32 | 5 | 1.107 |
| 1962/1963 | 8 | 118 | 31 | 115 | 89 | 123 | 75 | 86 | 28 | 40 | 18 | 40 | 767 |
| 1963/1964 | 27 | 9 | 38 | 49 | 31 | 43 | 128 | 142 | 132 | 25 | - | 36 | 659 |
| 1964/1965 | 61 | 56 | 41 | 166 | - | 135 | 79 | 120 | 12 | 6 | 22 | 9 | 707 |
| 1965/1966 | 26 | 158 | 139 | 285 | 152 | 306 | 74 | 232 | 71 | 53 | 5 | 3 | 1.504 |
| 1966/1967 | 36 | 35 | 116 | 54 | 215 | 173 | 155 | 176 | 14 | 4 | 20 | 20 | 1.018 |
| 1967/1968 | 35 | 27 | 61 | 82 | 120 | 82 | 120 | 24 | 30 | 48 | 42 | 33 | 704 |
| 1968/1969 | 24 | 101 | 90 | 102 | 236 | 224 | 90 | 116 | 57 | 5 | 20 | 23 | 1.088 |
| 1969/1970 | 52 | 62 | 49 | 142 | 80 | 45 | 80 | 30 | 64 | - | 7 | 68 | 679 |
| 1970/1971 | 29 | 93 | 39 | 30 | 139 | 27 | 317 | 47 | 75 | 5 | - | 11 | 812 |
| 1971/1972 | 21 | 57 | 33 | 33 | 67 | 18 | 152 | 82 | 72 | 6 | 50 | 18 | 609 |
| 1972/1973 | 44 | 52 | 105 | 98 | 167 | 55 | 94 | 60 | 99 | 155 | 57 | - | 986 |
| 1973/1974 | 19 | 20 | 127 | 75 | 76 | 118 | 190 | 40 | 98 | 5 | 15 | 45 | 828 |
| 1974/1975 | 20 | 85 | 64 | 165 | 35 | 50 | 199 | 127 | 96 | 65 | 15 | 55 | 976 |
| 1975/1976 | 48 | 26 | 191 | 115 | 97 | 68 | 115 | 5 | 7 | - | 12 | - | 684 |
| 1976/1977 | 47 | 97 | 96 | 82 | 215 | 42 | 263 | 60 | 79 | - | 14 | 55 | 1.050 |
| 1977/1978 | 20 | 69 | 101 | 75 | 164 | 87 | - | 4 | 15 | 20 | 6 | - | 561 |
| 1978/1979 | 4 | 70 | 219 | 96 | 20 | 199 | 128 | 70 | 6 | 14 | 10 | 48 | 884 |
| 1979/1980 | 55 | 104 | 101 | 148 | 72 | 5 | 146 | 81 | 148 | 79 | - | 38 | 977 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-------|
| 1980/1981 | 15 | 82 | 422 | 124 | 341 | 351 | 198 | 140 | 77 | 31 | 17 | 26 | 1.824 |
| 1981/1982 | 62 | 32 | 199 | 105 | 78 | 151 | 196 | 64 | 25 | 65 | - | 15 | 992 |
| 1982/1983 | 85 | 45 | 170 | 99 | 172 | 106 | 57 | 83 | 88 | - | 43 | - | 948 |
| 1983/1984 | - | 46 | 128 | 71 | 123 | 15 | 115 | 108 | 57 | 38 | - | 1 | 702 |
| 1984/1985 | 53 | 119 | 210 | 33 | 145 | 186 | 116 | 249 | 13 | 3 | 11 | 35 | 1.173 |
| 1985/1986 | 130 | 108 | 22 | 112 | - | 145 | 400 | 261 | 105 | 64 | 25 | - | 1.372 |
| 1986/1987 | 90 | 129 | 231 | 86 | 316 | 46 | 34 | 64 | 38 | 6 | 92 | 19 | 1.151 |
| 1987/1988 | 13 | 73 | 122 | 99 | 171 | 127 | 228 | 129 | 2 | 13 | - | - | 977 |
| 1988/1989 | 15 | 23 | 122 | 159 | 74 | 70 | 358 | 217 | 5 | 14 | 25 | 44 | 1.126 |
| 1989/1990 | 60 | 61 | 150 | 170 | 115 | 123 | 13 | 193 | 52 | 62 | 55 | - | 1.054 |
| 1990/1991 | 100 | 177 | 99 | 137 | 31 | 149 | 245 | 107 | 76 | 61 | - | - | 1.182 |
| 1991/1992 | 68 | 87 | 78 | 155 | 115 | 88 | 157 | 143 | 5 | 51 | 3 | 31 | 981 |
| 1992/1993 | 17 | 266 | 170 | 347 | 127 | 60 | 107 | 30 | - | - | - | 4 | 1.128 |
| 1993/1994 | 14 | 149 | 169 | 141 | 51 | 262 | 119 | 95 | 52 | 18 | 5 | 36 | 1.111 |
| 1994/1995 | - | 90 | 271 | - | 142 | - | 82 | 54 | 81 | 3 | - | 8 | 731 |
| 1995/1996 | 12 | 13 | 119 | 70 | 262 | 360 | 183 | 78 | 48 | - | - | 22 | 1.167 |
| 1996/1997 | 101 | 236 | 218 | 212 | 129 | 303 | 43 | 43 | 5 | 17 | 5 | 20 | 1.332 |
| 1997/1998 | 58 | 132 | 208 | 134 | 44 | 111 | 134 | 182 | 3 | 32 | - | 24 | 1.063 |
| 1998/1999 | 16 | 81 | 147 | 83 | 119 | 112 | 110 | 125 | 17 | 8 | 15 | - | 833 |
| 1999/2000 | 1 | 31 | 66 | 105 | 121 | 268 | 68 | 241 | 51 | 37 | 6 | 5 | 1.000 |
| 2000/2001 | 30 | 146 | 190 | 56 | 116 | 65 | 8 | 114 | 2 | 28 | 3 | 13 | 771 |
| 2001/2002 | 17 | 66 | 44 | 30 | 205 | 108 | 190 | 207 | 60 | 5 | 68 | 19 | 1.019 |
| 2002/2003 | 19 | 52 | 148 | 179 | 147 | 49 | 110 | 51 | - | 35 | - | 43 | 833 |
| 2003/2004 | 24 | 56 | 35 | 58 | 36 | 64 | 312 | 84 | - | 7 | 1 | 5 | 682 |
| 2004/2005 | 70 | 40 | 117 | 245 | 63 | 11 | 44 | 147 | 95 | 3 | - | - | 835 |
| 2005/2006 | 30 | 5 | 147 | 18 | 115 | 2 | 58 | 153 | 4 | 97 | - | - | 629 |
| 2006/2007 | 80 | 348 | 46 | 97 | 182 | 52 | 133 | 137 | - | 7 | 3 | 6 | 1.091 |
| 2007/2008 | 40 | 63 | 21 | 165 | 141 | 124 | 20 | 48 | - | 5 | - | 10 | 637 |
| 2008/2009 | 5 | 130 | 156 | 47 | 230 | 7 | 5 | 20 | 23 | 5 | 37 | 7 | 672 |
| 2009/2010 | 81 | 93 | 256 | 177 | 59 | 163 | 80 | 45 | 103 | - | 2 | 5 | 1.064 |
| 2010-2011 | 86 | 55 | 46 | 63 | 152 | 309 | 47 | 169 | 138 | 13 | 31 | - | 1.109 |
| 2011-2012 | 81 | 47 | 59 | 94 | 79 | 38 | 12 | 57 | 25 | 11 | 7 | 97 | 607 |

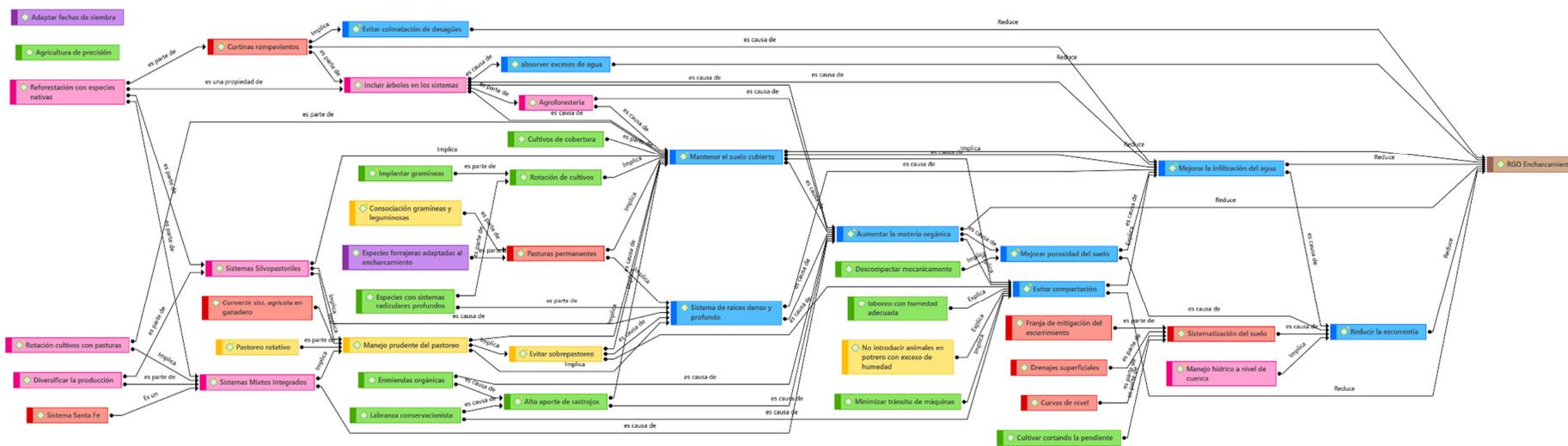
| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-------|
| 2012-2013 | - | 95 | 55 | 53 | 80 | 96 | 64 | 32 | 5 | 55 | 15 | - | 550 |
| 2013-2014 | 7 | 204 | 322 | 85 | 104 | 79 | 274 | 187 | 30 | 30 | 18 | 2 | 1.342 |
| 2014-2015 | 18 | 32 | 174 | 56 | 71 | 25 | 100 | 23 | 80 | 33 | - | 27 | 639 |
| 2015-2016 | - | 19 | 82 | 148 | 90 | 174 | 99 | 366 | - | 84 | - | - | 1.062 |
| 2016-2017 | - | 283 | 189 | 95 | - | 195 | 153 | 230 | 210 | 18 | 5 | | 1.378 |
| 2017/2018 | 10 | 120 | 65 | 55 | 199 | - | 120 | 15 | 187 | - | 4 | 29 | 804 |
| 2018-2019 | 77 | 180 | 323 | 68 | 296 | 124 | 303 | 173 | 142 | - | 50 | 7 | 1.743 |
| 2019-2020 | - | 51 | 108 | 36 | 183 | - | 41 | 52 | 26 | 29 | 3 | | 529 |
| 2020-2021 | 6 | 23 | 302 | 56 | 106 | 34 | 122 | 141 | 11 | 9 | - | - | 810 |
| 2021-2022 | 61 | 61 | 174 | 25 | 46 | 108 | 191 | 255 | 45 | 88 | - | 4 | 1.058 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|--------------|
| Máximo | 173 | 348 | 422 | 347 | 341 | 360 | 499 | 366 | 210 | 155 | 92 | 109 | 1.824 |
| Media | 37 | 91 | 129 | 106 | 120 | 115 | 136 | 112 | 52 | 25 | 16 | 20 | 960 |
| Mínimo | - | 5 | 17 | - | - | - | - | 4 | - | - | - | - | 529 |

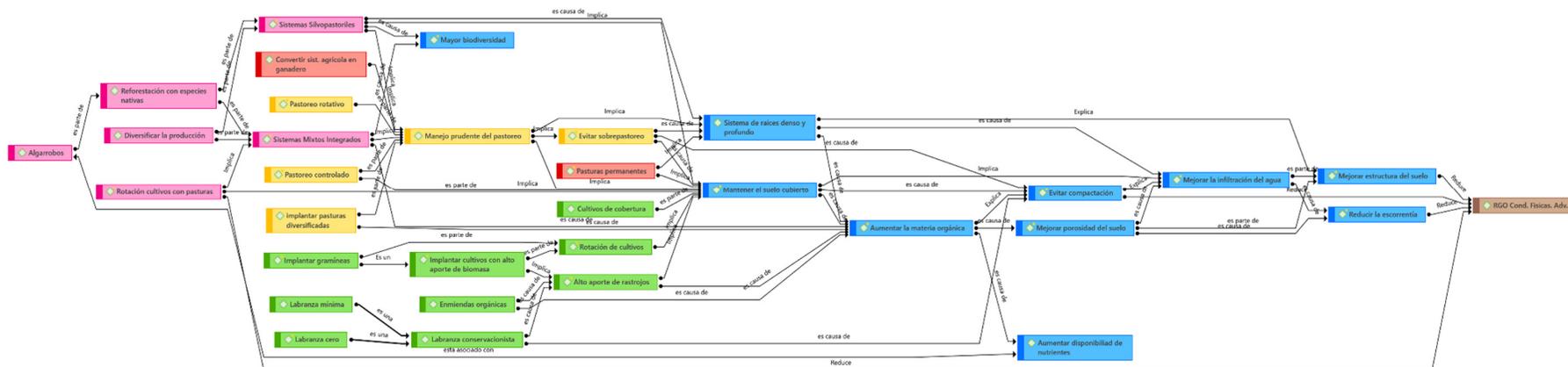
Anexo V. RED Riesgo de retención de humedad



Anexo VI. RED Riesgo de encharcamiento



Anexo VIII. RED Riesgo de condiciones físicas adversas



Anexo X. Cuestionario de consulta a Expertos



Tesis: Modelos de decisión centrados en el contexto de producción del domo agrícola del Chaco

Doctoranda: María Eugenia Quirolo

Cuestionario de consulta a expertos

El contenido de este documento pertenece a la tesis doctoral en desarrollo que la investigadora lleva adelante en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires (FCE-UBA).

Este cuestionario tiene como objetivo recolectar información sobre prácticas agropecuarias que potencialmente se pueden realizar dentro de los sistemas mixtos de producción (descritos en el cuadro N°1), para afrontar los principales riesgos climáticos y edáficos del Departamento Maipú, Chaco.

Los tipos de prácticas o acciones que pueden realizarse para afrontar los riesgos son de dos tipos:

- 1) Las *acciones de control*: permiten al sistema adaptarse frente a cambios, tanto internos y como externos, permitiendo su desarrollo mientras permanece dentro del régimen actual de intensificación agropecuaria.
- 2) Las *adaptaciones de respuesta*, que apuntan a una transformación más radical del sistema y sus procesos hacia un nuevo régimen, buscando evitar un cambio transformador de carácter involuntario, incontrolado y negativo; o bien aprovechar las oportunidades que se ven como emergentes. Algunos ejemplos podrían ser: convertir un sistema agrícola en uno ganadero o en ganadero-forestal, adoptar la agroecología, adoptar la agroforestería, etc.

Los principales riesgos que se tienen en cuenta son: riesgo de encharcamiento, riesgo de retención de humedad, condiciones físicas adversas, susceptibilidad a la erosión y riesgo de condiciones químicas adversas (se definen antes de cada bloque de preguntas).

A continuación, se abren **seis bloques de tres preguntas**. Se le pide que responda el cuestionario basándose en las definiciones dadas y en la información contenida en el cuadro N°1. Al final del documento se presenta el mapa de riesgos edáficos del Departamento.

Riesgo de encharcamiento *Anegamientos de moderada a ligera frecuencia, de muy poca profundidad que afectan de manera espacialmente irregular los suelos agrícolas, por lo general, impidiendo el ingreso de maquinarias o dificultando las tareas sobre los cultivos. Los suelos por lo general tienen buen espesor horizonte A, de buena fertilidad natural; pudiendo existir por debajo un horizonte lavado (E), el horizonte B es de moderada a fuertemente textural; se encuentran en posiciones de lomas medias desarrolladas bajo de vegetación de bosques altos abiertos y pastizales. La aptitud de los suelos es agrícola o agrícola-ganadera.*

Se identifican en el mapa como las unidades de color CELESTE

1. Para afrontar el riesgo de encharcamiento:

- 1.1 ¿Qué acciones de control propone usted llevar a cabo para que el sistema siga funcionando dentro del régimen actual (descrito en el cuadro N°1) en el corto plazo?
- 1.2 ¿Qué acciones de control propone usted llevar a cabo para que el sistema siga funcionando dentro del régimen actual en el largo plazo?
- 1.3 Si las acciones de control llegaran a encontrar un límite, ¿Qué tipo de adaptaciones de respuesta o transformación considera puede ser efectivo para afrontar el riesgo?

Riesgo de retención de humedad. *El suelo presenta una porosidad no capilar relativamente alta y una velocidad de percolación mayor a 6 cm/hs. Los cultivos se ven afectados por estrés hídrico pocos días después de las precipitaciones. Son suelos de texturas medias a livianas en todo el perfil, con una secuencia de horizontes A-C, suelos profundos de buena a regular fertilidad natural, de escasa estabilidad estructural en superficie; con vegetación de bosques altos ubicados en lomas o lomas medias tendidas con escaso gradiente de pendiente, suelos de buena aptitud agrícola con recurrencia en la formación de pisos de arado. En áreas de lluvias restringidas son suelos de aptitud mixta. Se identifican en el mapa como las unidades de color AMARILLO*

2. Para afrontar riesgo de retención de humedad:

- 2.1 ¿Qué acciones de control propone usted llevar a cabo para que el sistema siga funcionando dentro del régimen actual en el corto plazo?
- 2.2 ¿Qué acciones de control propone usted llevar a cabo para que el sistema siga funcionando dentro del régimen actual en el largo plazo?
- 2.3 Si las acciones de control llegaran a encontrar un límite, ¿Qué tipo de adaptaciones de respuesta o transformación considera puede ser efectivo para afrontar el riesgo?

Muchas gracias por su respuesta. Por dudas, consultas o comentarios escribir a quirola.eugenia@inta.gob.ar



Riesgos de condiciones físicas adversas. Presencia de horizontes que reúnen características indeseables para el normal desarrollo radical de pasturas y cultivos comunes. Son suelos con presencia de horizonte E superficial, o muy escaso espesor de horizonte A; el horizonte B de moderada a fuertemente textural, regular a pobre contenido de materia orgánica. En ocasiones, por su ubicación en el relieve, sufren encharcamientos durante la época de grandes precipitaciones. La aptitud de este grupo es ganadero-agrícola o ganadera. Se identifican en el mapa como las unidades de color NARANJA

3. Para afrontar riesgo de condiciones físicas adversas:

- 3.1 ¿Qué acciones de control propone usted llevar a cabo para que el sistema siga funcionando dentro del régimen actual en el corto plazo?
- 3.2 ¿Qué acciones de control propone usted llevar a cabo para que el sistema siga funcionando dentro del régimen actual en el largo plazo?
- 3.3 Si las acciones de control llegaran a encontrar un límite, ¿Qué tipo de adaptaciones de respuesta o transformación considera puede ser efectivo para afrontar el riesgo?

Riesgo de erosión (hídrica y eólica). *Erosión hídrica* está relacionado principalmente con las lluvias (cantidad e intensidad), aunque la longitud y grado de la pendiente y condiciones de superficie y del perfil del suelo, también son factores contribuyentes importantes. El agua produce la erosión en dos etapas; primero arranca la partícula de suelo y luego la transporta por escurrimiento superficial. Cuando este escurrimiento se canaliza, aumenta su capacidad de transporte. Se trata de suelos con secuencia de horizontes A-B-C con buena profundidad efectiva, texturas medias, buen contenido de materia orgánica, buena fertilidad natural, buena retención de humedad. Correspondientes a suelos desarrollados sobre vegetación de pastizales y bosques altos cerrados. Se identifican en el mapa como las unidades de color VERDE.
Con la *erosión eólica* las partículas de suelo son cambiadas de lugar por saltación, es decir por desprendimiento violento; por suspensión en el aire y por el arrastre superficial. La tierra removida por saltación y por arrastre no va muy lejos, se queda en la misma área de erosión o en sus inmediaciones. La que está en suspensión puede viajar centenares de kilómetros, ya que la capacidad del viento como vehículo de transporte es enorme.

4. Para afrontar riesgos de erosión hídrica y/o eólica:

- 4.1 ¿Qué acciones de control propone usted llevar a cabo para que el sistema siga funcionando dentro del régimen actual en el corto plazo?
- 4.2 ¿Qué acciones de control propone usted llevar a cabo para que el sistema siga funcionando dentro del régimen actual en el largo plazo?
- 4.3 Si las acciones de control llegaran a encontrar un límite, ¿Qué tipo de adaptaciones de respuesta o transformación considera puede ser efectivo para afrontar el riesgo?

Muchas gracias por su respuesta. Por dudas, consultas o comentarios escribir a quirolu.euqenia@inta.gob.ar

Riesgo de degradación química del suelo. Reúne a los procesos de pérdida de materia orgánica y de otros nutrientes del suelo, como así también los cambios en los niveles de acidez del suelo, el aumento de sales, la alcalinización y/o la toxicidad, ocasionados por la extracción de nutrientes o por el uso inadecuado del suelo.

5. Para afrontar riesgos de degradación química del suelo:

- 5.1 ¿Qué acciones de control propone usted llevar a cabo para que el sistema siga funcionando dentro del régimen actual en el corto plazo?
- 5.2 ¿Qué acciones de control propone usted llevar a cabo para que el sistema siga funcionando dentro del régimen actual en el largo plazo?
- 5.3 Si las acciones de control llegaran a encontrar un límite, ¿Qué tipo de adaptaciones de respuesta o transformación considera puede ser efectivo para afrontar el riesgo?
- 6. Si hubiera alguna otra situación que involucre la interacción de dos o más tipos de riesgos:**
- a. ¿Cuál sería esa situación?
- b. ¿Cuáles serían las acciones de control para afrontarla?

¿Cuáles serían las acciones de respuesta adaptativa?

Muchas gracias por su respuesta. Por dudas, consultas o comentarios escribir a quirolu.euqenia@inta.gob.ar

Cuadro 1. Descripción de los sistemas de producción mixtos con tendencia a la agricultura del Departamento Maipú, Chaco.

Son sistemas con superficies de entre 600 a 1.200 hectáreas, donde se realizan actividades agrícolas y ganaderas-forestales. La superficie del sistema se reparte, aproximadamente, en un 70% a la agricultura, sobre tierras arrendadas, y un 30% a la ganadería sobre tierras propias. La toma de decisiones del productor tiene una lógica muy vinculada a los mercados de productos e insumos. Se centra en la búsqueda de eficiencia en la producción, la estabilidad de los rendimientos, y la maximización de la productividad y/o de los beneficios.

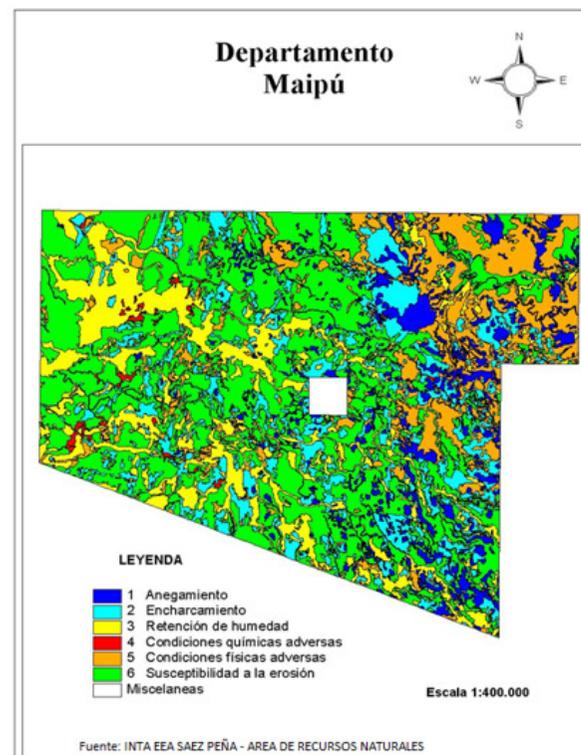
Sub-sistema ganadero

El sub-sistema ganadero está altamente intensificado. Se suman recursos forrajeros al campo natural, de manera que el sistema permita sostener niveles de carga animal, cercanos a 1 EV/ha (300 vientres en 300 ha, aproximadamente). Los porcentajes de preñez se ubican entre un 70% y un 80%, y los de destete, alrededor del 70%. Como "la actividad ganadera está compitiendo con la agricultura", debe cubrir el costo de oportunidad. Por lo tanto, el manejo incluye la planificación de los recursos forrajeros buscando adecuar de la mejor manera posible los requerimientos del rodeo a la curva de producción de pastos. Los déficits invernales, resultantes de una carga animal mayor que la receptividad, se cubren con siembras pasturas y verdeos, se confeccionan rollos y se suplementa la dieta de las vacas y vaquillas de reposición con ensilados de maíz o de sorgo. También es frecuente el manejo silvopastoril de una porción del monte. Se ordenan los rodeos, se estacionan los servicios y se sigue un calendario sanitario para aumentar la productividad.

Sub-sistema agrícola

Los planteos productivos incluyen principalmente a los cultivos soja, maíz, principalmente. En menor medida, girasol, y algodón. La siembra de trigo en invierno es ocasional, dependiendo de la disponibilidad de agua en el perfil del suelo al momento de la siembra, y del precio relativo del trigo con respecto al girasol, ya que ambos cultivos compiten por el uso del suelo. Las secuencias de cultivos más frecuentes en las rotaciones son Girasol/Maíz/Soja, Soja/Algodón y Soja/Girasol.

Figura 1. Mapa de riesgos edáficos del Departamento Maipú, Chaco.



Muchas gracias por su respuesta. Por dudas, consultas o comentarios escribir a quirola.euqenia@inta.gob.ar

Muchas gracias por su respuesta. Por dudas, consultas o comentarios escribir a quirola.euqenia@inta.gob.ar