



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**ESTUDIO BIOECONÓMICO Y MODELIZACIÓN
MULTIAGENTE DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
GANADEROS QUE UTILIZAN PASTOREO RACIONAL
VOISIN**

MARÍA BELÉN LÓPEZ PÉREZ

TESIS DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**URUGUAY
2023**



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**ESTUDIO BIOECONÓMICO Y MODELIZACIÓN
MULTIAGENTE DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
GANADEROS QUE UTILIZAN PASTOREO RACIONAL
VOISIN**

MARÍA BELÉN LÓPEZ PÉREZ

Francisco Diéguez
Director de Tesis

Gustavo Benítez
Co-director

2023

INTEGRACIÓN DEL TRIBUNAL DE

DEFENSA DE TESIS

Federico García; Ing Agr, MSc, PhD
Facultad de Agronomía
Universidad de la República - Uruguay

Carolina Fiol; DMTV, MSc, PhD
Facultad de Veterinaria
Universidad de la República - Uruguay

Hugo Fort; Lic, MSc, PhD
Facultad de Ciencias
Universidad de la República - Uruguay

2023



Centro de Posgrados
Facultad de Veterinaria
Universidad de la República

17

ACTA DEFENSA DE TESIS DE MAESTRIA

ORIENTACIÓN: Producción animal

LUGAR Y FECHA DE LA DEFENSA: 24/07/2023

TRIBUNAL: Federico García, Carolina Fiol, Hugo Fort

CI	NOMBRE	CALIFICACIÓN	NOTA
4491792-0	LÓPEZ PEREZ, MARÍA BELÉN	Ste	12

NOTA: La calificación mínima para aprobar la defensa es B.B.B (6)

El tribunal, reunido en la instancia de defensa, el día 24 de julio de 2023, entiende que la estudiante María Belén López Pérez cumplió destacadamente los requisitos para la aprobación con mención. El trabajo presentado es relevante, trata una temática innovadora, está bien escrito y desarrollado. El único aspecto a mejorar es el planteo de una hipótesis de trabajo explícita, ya que si bien se entiende cuál es la hipótesis subyacente, sería interesante verla explicitada.

TRIBUNAL

FIRMA

Federico García

Carolina Fiol

Hugo Fort

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, Francisco y Gustavo, por los consejos, las correcciones, el aprendizaje, por encaminarme cuando no sabía para dónde agarrar y por recibir las ideas con las que llegaba y, sobre todo, por el trato tan humano y el cariño.

A Emiliano y Santiago, y a todo el equipo de trabajo de PRV en Fvet, docentes y estudiantes que formaron y forman parte de esta línea, para continuar ahondando en el conocimiento y el intercambio de saberes.

A toda el área de Economía y Administración de Fvet, por hacerme sentir parte, por formar este equipo de trabajo tan agradable.

A la CAP y a la CIDEDEC, por la financiación.

A Carlo, Fernando, Hugo, Maximiliano y Marilina, por abrirnos sus puertas y compartir sus planillas.

A los productores y las productoras que participaron de los talleres colectivos, por participar y compartir sus vivencias.

Al centro Emmanuel, en especial a María Eugenia, por recibirnos y coordinar las instancias con el grupo.

A mi padre, Álvaro, y a mi madre, Raquel, a quienes dedico esta tesis, por su comprensión y apoyo inagotable, y por compartir sus experiencias, que tanto me ayudaron a afrontar las mías.

A Cami, Flor y Vicky, por su amistad, su ánimo, por todo lo que compartimos.

A Guido, por estar, por preguntar y por siempre darme para adelante.

A mi perra Ammy, que tantas mañanas y tardes me acompañó cuando trabajaba desde casa.

A Marcelo, por acompañarme en esta etapa, por siempre creer en mí, por todos los cambios que vivimos durante estos años y por los que vendrán.

Gracias

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS	4
2.1. Pastoreos no tradicionales en Uruguay	4
2.2. El Pastoreo Racional Voisin (PRV).....	5
2.2.1. Difusión y resultados	7
2.2.2. Desafíos para su implementación y evaluación	8
2.3. La evaluación de sistemas agropecuarios familiares	10
2.4. Los modelos de simulación de sistemas agropecuarios.....	12
2.4.1. Modelado participativo y modelado multiagente.....	13
2.4.2. Antecedentes de modelos de simulación de sistemas de producción en Uruguay	15
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
4. HIPÓTESIS.....	18
5. OBJETIVOS.....	19
5.1. Objetivo General	19
5.2. Objetivos específicos	19
6. ESTRATEGIA DE LA INVESTIGACIÓN	20
6.1. Descripción de los predios estudiados.....	21
7. TRABAJO 1.....	22
7.1. Materiales y métodos.....	22
7.2. Resultados	23
7.3. Discusión.....	25
7.4. Conclusiones	26
8. TRABAJO 2.....	27
8.1. Materiales y métodos.....	27
8.1.1. Recolección de datos y estimación de costos.....	27
8.1.2. Indicadores productivos y económicos.....	27
8.2. Resultados	28
8.2.1. Caracterización de los predios	28
8.2.2. Inversión estimada del Pastoreo Racional Voisin	28
8.2.3. Resultados productivos	28

8.2.4.	Resultados económicos.....	29
8.2.5.	Estructura de costos.....	30
8.3.	Discusión.....	33
8.4.	Conclusiones	35
9.	TRABAJO 3.....	36
9.1.	Materiales y métodos.....	36
9.1.1.	Talleres con productores.....	36
9.1.2.	Implementación del modelo.....	37
9.1.3.	Escenarios de simulación.....	38
9.2.	Resultados	39
9.2.1.	Talleres con productores.....	39
9.2.2.	Implementación del modelo.....	43
9.2.3.	Escenarios de simulación.....	45
9.3.	Discusión.....	48
9.4.	Conclusiones	51
10.	DISCUSIÓN GENERAL.....	52
11.	CONCLUSIONES.....	57
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
13.	ANEXO I – Poster IC-PRV	68
14.	ANEXO II – Artículo publicado	69
15.	ANEXO III – Poster modelo.....	79
16.	ANEXO IV – Cuestionario del taller III.....	80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I. Indicadores descriptivos de cuatro predios (1, 2, 3 y 4) que utilizaban Pastoreo Racional Voisin en toda o parte de su superficie.	21
Cuadro II. Ganancia diaria promedio por animal por día de tres predios (1, 2 y 3) con producción vacuna en pastoreo racional Voisin (1, 2 y 3) en dos ejercicios.	28
Cuadro III. Indicadores globales (IKP e IFN) y parciales (MB) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios, expresados en dólares constantes por hectárea y valorización del stock corriente (A) o constante (B).	29
Cuadro IV. Costos por rubro para cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos.	31
Cuadro V. Criterios de entrada y salida de animales a potreros mencionados por productores integrantes de un grupo sobre pastoreo racional Voisin, durante el taller I.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva sigmoidea del crecimiento de la pastura en dos estaciones diferentes de acuerdo a las observaciones de Voisin en Normandía, Francia.	5
Figura 2. Puntuación obtenida por cuatro predios que utilizaban pastoreo racional Voisin en toda o parte de su superficie, evaluados para las diez características que conforman el Índice de conformidad del Pastoreo Racional Voisin según Wendling y Ribas (2013).....	24
Figura 3. Producto bruto de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (ejercicio 1: blanco y ejercicio 2: gris), expresados en dólares constantes por hectárea de superficie pastoreada y usando precios promedios del ejercicio 1 para la valorización del stock animal.	29
Figura 4. Costos totales por ha de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (ejercicio 1: blanco y ejercicio 2: gris).	30
Figura 5: Costos en efectivo (blanco) y no efectivo (gris) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (A: ejercicio 1 y B ejercicio 2), expresados en porcentaje de costos totales.....	32
Figura 6: Costos fijos (blanco) y variables (gris) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (A: ejercicio 1 y B ejercicio 2), expresados en porcentaje de costos totales.....	32
Figura 7: Costos directos a ganadería en PRV (blanco), indirectos (gris claro) y directos a nueces pecan (gris oscuro, solo para predio 3) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (A: ejercicio 1 y B: ejercicio 2), expresados en porcentaje de costos totales.....	32
Figura 8. Materiales elaborados en el taller I, con productores integrantes de un grupo sobre pastoreo racional Voisin (PRV). A la izquierda, criterios de entrada y salida de animales a potreros, utilizando el sistema PRV. A la derecha, representación de una curva logística de crecimiento de la pastura y factores que la influyen.	41
Figura 9. Fotografías de los talleres con productores integrantes de un grupo sobre pastoreo racional Voisin. Taller I a la izquierda y taller III a la derecha.	43
Figura 10. Diagrama de clase de las entidades, así como sus relaciones, atributos y acciones representadas en un modelo multiagente de un sistema de pastoreo racional Voisin.	44
Figura 11 – Diagrama de actividad representando los principales procesos de un modelo multiagente de un sistema de pastoreo racional Voisin.	45
Figura 12. Visualización de un modelo multiagente de un sistema de pastoreo racional Voisin en la inicialización (izquierda) y luego de transcurridos 10 días (derecha).	45
Figura 13. Ganancia por ha (rosado) y por cabeza (violeta) en función de la carga animal para un modelo multiagente de un sistema con pastoreo racional Voisin para simulaciones de un año.....	46

Figura 14. Margen Bruto por ha en función de la carga animal para un modelo multiagente de un sistema con pastoreo racional Voisin para simulaciones de un año, utilizando diferentes precios de venta, expresados en dólares por kg de peso vivo.	47
Figura 15. Ganancia promedio por ha en función del coeficiente climático, manteniendo una carga animal inicial de 0,72 UG/ha, para un modelo multiagente de un sistema con pastoreo racional Voisin para simulaciones de un año y altura inicial promedio de la pastura de 4cm.	48
Figura 16. Margen Bruto (dólares/ha) en función de la carga animal (UG/ha) y el coeficiente climático para un modelo multiagente de un sistema con pastoreo racional Voisin para simulaciones de un año, manteniendo un precio de venta de 2 dólares/ kg de peso vivo.	48

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABM – modelado multiagente
- ACG – Asociación de consignatarios de ganado del Uruguay
- AUGAP - Asociación uruguaya de ganaderos del pastizal
- BPC - Base de prestaciones y contribuciones
- CC – coeficiente climático
- DIEA - Oficina de Estadísticas Agropecuarias del MGAP
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura
- IC-PRV – índice de conformidad del pastoreo racional Voisin
- IFN – ingreso familiar neto
- IKP – ingreso de capital propio
- INAC - Instituto Nacional de Carnes
- IPA – Instituto plan agropecuario
- MB – margen bruto
- MGAP – Ministerio de ganadería agricultura y pesca
- PB – producto bruto
- PR – pastoreo racional
- PRV – pastoreo racional Voisin
- SPG – superficie de pastoreo ganadera
- SPNT – sistemas de pastoreo no tradicionales
- SUPRA - Sociedad uruguaya de pastoreo racional
- UG – unidades ganaderas
- UML – lenguaje universal de modelado

RESUMEN

El Pastoreo Racional Voisin (PRV) es un sistema de pastoreo basado en períodos cortos de ocupación y tiempos de descanso variables. Si bien su adopción ha aumentado, la información acerca de este tipo de sistema continúa siendo escasa. El presente trabajo se plantea contribuir al estudio del PRV, utilizando herramientas de diagnóstico de su grado de implementación, análisis bioeconómico y modelado multiagente (ABM). Se analizaron cuatro predios familiares de Uruguay, tres vacunos y uno ovino, que utilizaban PRV. Se evaluó su índice de conformidad del PRV (IC-PRV) y se recabaron datos productivos (dotación, ganancia diaria, kg de carne equivalente) y económicos [producto bruto (PB) y estructura de costos, ingreso de capital propio (IKP), ingreso familiar neto (IFN) y margen bruto (MB)] de dos ejercicios agrícolas (2018-2019 y 2019-2020), así como la estimación de la inversión de la instalación del sistema. Se realizaron tres talleres con un grupo de productores que incluía a los dueños de los predios evaluados, utilizando una metodología participativa para definir los elementos a incluir en un modelo multiagente de un PRV. El IC-PRV promedio de los cuatro predios fue de 81%, oscilando entre 94 y 68%. Todos los predios obtuvieron el máximo puntaje para las características número de potreros, no uso de agroquímicos y no uso de fertilizantes químicos; y obtuvieron su puntaje más bajo en la característica sombra en potreros. La inversión estimada en el PRV en los predios vacunos osciló entre 171 y 203 dólares/ha para la división de los potreros, y entre 133 y 197 dólares/ha para la distribución del agua, ambas inversiones fueron superiores en el predio ovino. La producción de carne (predios vacunos) o de carne equivalente (predio ovino) osciló entre 115 y 621 kg/ha. El PB y el IFN variaron entre 210 y 1532 y entre 107 y 1370 dólares constantes/ha, respectivamente. La mayoría de los costos fueron fijos, directos y en no efectivo, siendo el salario ficto familiar el costo de mayor peso en todos los predios. Los productores con los que se trabajó demostraron interés por el modelado, conocimiento de la curva de crecimiento de la pastura, y preocupación por problemáticas ambientales. El modelo elaborado simuló un sistema PRV vacuno representativo, asumiendo que cumplía todas las características del PRV. Se construyó en una plataforma multiagente, utilizando como base para el crecimiento de la pastura y la ganancia del ganado a un modelo presa-predador previamente desarrollado. El ABM elaborado permitió espacializar el sistema para explicitar el manejo PRV, e incorporar costos directos promedio de los predios vacunos estudiados para estimar el MB del sistema modelado. Posteriormente, se generaron escenarios de carga animal óptima en condiciones de diferente precio de venta y en condiciones climáticas desfavorables para el crecimiento de las pasturas. La ganancia de peso/ha del modelo presentó un comportamiento cuadrático, mientras que la ganancia individual mostró una relación lineal e inversa a la carga animal en todos los casos. El MB fue mayor cuando se utilizaban carga moderadas (0,74 y 0,78 UG/ha) y cuando el precio de venta y el coeficiente climático fueron elevados.

ABSTRACT

Voisin Rational Grazing (VRG) is a grazing system based on short periods of occupation and variable rest periods. Although its adoption is increasing, information about this type of system continues to be scarce. The present work aims to contribute to the study of VRG, using diagnostic tools to evaluate its degree of implementation, bio-economic results and agent-based modelling (ABM). Four Uruguayan family farms, three cattle and one sheep farm, which used VRG were analyzed. Their VRG Conformity Index (VRG-CI) was evaluated, and productive [livestock density, daily gain, meat equivalent (indicator which summarizes meat and wool production)] and economic (gross farm income, cost structure, net income gross family income and gross margin) indicators of two years (2018-2019 and 2019-2020) were estimated, as well as the investment of the installation of the system. Three workshops were held with a group of producers that included the owners of the farms evaluated, using a companion modelling methodology to define the elements to be included in a ABM of a VRG. The average VRG-CI of the four farms was 81%, ranging between 94 and 68%. All the properties obtained the maximum score for the items number of paddocks, non-use of pesticides and non-use of chemical fertilizers; and they obtained their lowest score for shade in paddocks. The estimated investment in the VRG in the cattle farms ranged between 171 and 203 dollars/ha for the division of the pastures, and between 133 and 197 dollars/ha for the distribution of water, both investments were higher in the sheep farm. Production of meat (cattle farms) or equivalent meat (sheep farms) ranged between 115 and 621 kg/ha. The gross farm income and the gross family income varied between 210 and 1532 and between 107 and 1370 constant dollars/ha, respectively. Most of the costs were fixed, direct and non-cash, with the fictitious family salary being the cost with the greatest weight in all farms. The producers with whom we worked showed interest in modeling, knowledge of the growth curve of the pasture, and concern for environmental problems. The developed model simulated a representative cattle VRG system, assuming that it fulfilled all the PRV characteristics. It was built in an ABM platform using a previously developed model as a basis for pasture growth and cattle gain. The developed ABM allowed the spatialization of the system to make explicit the VRG management, and incorporated mean direct costs of the cattle farms studied in order to estimate the gross margin of the modeled system. Subsequently, scenarios were generated with optimum animal load in different conditions of sale price and unfavorable weather conditions for pasture growth. The gain per ha of the model described a quadratic behavior, while the individual gain showed a linear and inverse relationship to the stocking rate. The gross margin was higher when moderate loads were used (0.74 and 0.78 UG/ha) and when the sale price and the climatic coefficient were high.

1. INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica, los sistemas de producción pecuaria aportan al bienestar social, económico y cultural de las comunidades, contribuyendo a la soberanía alimentaria y a la economía regional (FAO, 2021). Los sistemas pecuarios de la región se enfrentan a múltiples desafíos este siglo: aumentar la eficiencia productiva y la calidad e inocuidad de los productos, siendo amigables con el medio ambiente, respetuosos con el bienestar animal y la biodiversidad (Tewolde *et al.*, 2017). Sin embargo, el deterioro del recurso forrajero y la creciente variabilidad climática constituyen amenazas al sector (Ayala, 2010). Además, la ganadería tradicional tiene una creciente competencia por recursos por parte de la agricultura y la forestación, actividades que han tenido un crecimiento sostenido en la región (Carvalho *et al.*, 2008). Por otra parte, la producción de carne bovina enfrenta una publicidad negativa por la producción de gases efecto invernadero derivados de la propia fisiología digestiva de los rumiantes (Gerber *et al.*, 2015), problemas de salud humana por el alto consumo de carne bovina (Kerslake *et al.*, 2022), así como una exacerbada visión sobre el bienestar animal (Francione, 2019), que derivan en recomendaciones de disminuir o remover la carne de la dieta. Sin embargo, la Cumbre internacional sobre el papel de la carne en la sociedad, que se realizó en octubre de 2022 en Dublín, República de Irlanda (Declaración de Dublín, 2023), tuvo como objetivo enfrentar con resultados científicos a las visiones reduccionistas o simplistas sobre la ganadería. Como resultado de esta cumbre, se generó la Declaración de Dublín, la cual puntualiza, entre otros factores, que la ganadería continúa siendo fundamental para la sociedad; es fuente de proteína de alta calidad, valoriza tierras marginales no aptas para la producción directa de alimentos para humanos, aporta al flujo circular de nutrientes, puede brindar servicios ecosistémicos, contribuye a la seguridad alimentaria y a la economía, siendo la propiedad ganadera la forma más frecuente de propiedad privada de activos en el mundo (Ederer y Leroy, 2023).

La ganadería se puede estudiar desde el punto de vista de la bioeconomía. El concepto de bioeconomía se utiliza de diversas maneras, pero, en términos generales, refiere a la rama de la economía que estudia la explotación de los recursos renovables (Brambila-Paz *et al.*, 2013). Bugge *et al.* (2016) identifican tres visiones dentro de la bioeconomía, siendo la visión bio-ecológica la que se plantea como objetivo la sustentabilidad de los sistemas. La FAO plantea que la bioeconomía permite abordar problemáticas como la seguridad alimentaria, la escasez de recursos naturales, la dependencia de los recursos fósiles y el cambio climático. En 2015 la FAO inició el proyecto “Hacia la elaboración de directrices sobre una bioeconomía sostenible” que se propone elaborar pautas para el desarrollo y la ejecución de estrategias, políticas y programas nacionales y regionales sobre bioeconomía sostenible. En este contexto, para afrontar los nuevos desafíos que enfrentan la ganadería en general y los/as productores/as en forma particular, son necesarias herramientas que permitan la captura y procesamiento de información de manera ágil y fiable. En concreto, las tecnologías que permiten la rápida captura y utilización de datos ambientales y del

ganado, incluso en sistemas extensivos, contribuyen a mejorar la productividad, eficiencia, bienestar animal y sustentabilidad de estos sistemas (Greenwood, 2021).

Uruguay es un país agroexportador, siendo la carne bovina el principal producto de exportación del sector agroalimentario. Como tal, es tomador de precios y está sometido a las exigencias del mercado internacional. De la carne bovina producida, el mercado interno es el destino del 30% de la producción, exportándose el restante 70% (INAC, 2021). En 2021, Uruguay poseía 11.910 millones de vacunos de carne y 6.230 de ovinos. En ese año, se realizaron 44.128 declaraciones juradas de predios ganaderos puros, correspondientes a casi 13 millones de ha; de estos establecimientos, el 70 % era de 200 ha o menos (DIEA, 2022). Por otra parte, en el Censo General Agropecuario de 2011 (DIEA, 2011) se registró que el 56% de las explotaciones agropecuarias correspondían a productores/as familiares, y ocupaban el 14% de la tierra explotada.

El sistema de producción tradicional en Uruguay está basado en el pastoreo extensivo a cielo abierto, mixto (bovinos de carne y ovinos), continuo todo el año sobre campo natural, el cual forma parte del bioma *Campos*, que integra las praderas templadas de América del Sur, constituyendo una de las áreas más extendidas de pastizales naturales en el mundo (Berretta *et al.*, 2000). Este sistema está asociado a una baja subdivisión de la superficie, manejándose potreros de gran tamaño, donde los animales permanecen por largos períodos. Sin embargo, se ha observado un incremento en la adopción de Sistemas de Pastoreo No Tradicionales (SPNT) en el país, siendo uno de los principales el Pastoreo Racional Voisin (PRV) (Mora y Pezzani, 2018; Favaro *et al.*, 2021).

El PRV fue desarrollado por Pinheiro Machado (2011) en base a principios descritos por Andre Voisin (1957). Es un sistema de pastoreo basado en períodos cortos de ocupación y tiempos de descanso variables. El PRV se plantea como un sistema de pastoreo alternativo, que contempla la sustentabilidad productiva, económica, social y ambiental, respeta el bienestar animal y promueve el ecosistema de las pasturas naturales (Pinheiro Machado Filho *et al.*, 2021). Sin embargo, debido a la multiplicidad de características que tiene y a la complejidad de adoptar algunas de ellas, los predios que se denominan PRV presentan una gran variabilidad entre sí, lo que dificulta su estudio. Una alternativa para evaluar este tipo de sistema es la propuesta por Wendling y Ribas (2013) que asigna un puntaje al nivel de adopción de diez características del PRV: número de potreros; respeta tiempo de reposo; respeta tiempo de ocupación; número de lotes; agua en potreros; sombra en potreros; diversidad de pasturas; siembra en cobertura y/o pasturas perennes; no uso de fertilizantes químicos; y no uso de agroquímicos.

Por otra parte, tener información de sistemas que utilizan PRV en Uruguay constituye un aporte novedoso a la temática. El análisis económico resulta de especial interés ya que una de las ventajas planteadas es que, si bien instalar un PRV requiere de una considerable inversión inicial, los costos de funcionamiento son bajos en comparación

con otros tipos de pastoreo (Murphy *et al.*, 1986; Sorio, 2010). Otra particularidad observada es que, con frecuencia, quienes adoptan el sistema PRV son productores/as familiares, donde la economía familiar y la del sistema productivo están íntimamente interrelacionadas. Conocer los objetivos de la familia (que suelen ser múltiples y diversos) puede contribuir a la comprensión de las motivaciones detrás de la adopción de este tipo de sistema.

En sistemas complejos como este, herramientas capaces de sintetizar información y expresarla de manera sencilla pueden resultar muy valiosas. Una de las herramientas emergentes utilizadas para estudiar sistemas complejos es la del modelado. En particular, el modelado multiagente (ABM) permite simular entidades móviles independientes, capaces de interactuar entre sí y con el ambiente (Railsback y Grimm, 2019). De esta manera, los modelos ABM permiten modelar la espacialidad y, por lo tanto, son una herramienta útil para el estudio de la gestión espacio-temporal del pastoreo (Soca *et al.*, 2020). El PRV utiliza un gran número de potreros, donde cada uno puede tener diferente disponibilidad de pastura. Es posible simular esto en un ABM, ya que el espacio, al igual que las entidades móviles, puede subdividirse y tener diferentes características. Sin embargo, para poder modelar un sistema complejo, es necesario contar con información de calidad que permita calibrarlo, así como determinar cuáles son los aspectos relevantes que deben ser incluidos en el modelo y cuáles pueden dejarse de lado, para la necesaria simplificación del sistema. El modelado participativo es una herramienta de co-construcción utilizada para compartir información y entendimiento (Etienne *et al.*, 2008), por lo que esta metodología resulta apropiada para construir un modelo conceptual sobre PRV que integre la visión de los/as productores/as que escogen instalar este tipo de sistema. A través de talleres con productores/as que utilizan este sistema, se puede elaborar un modelo conceptual, considerando los aspectos más relevantes de un PRV, para posteriormente trasladar estos conceptos al modelo de simulación.

2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

2.1. Pastoreos no tradicionales en Uruguay

Si bien el pastoreo extensivo ha sido y continúa siendo el sistema predominante en Uruguay, se ha observado un incremento en la adopción de SPNT en el país (Mora y Pezzani, 2018; Favaro *et al.*, 2021). En 2018, Mora y Pezzani encuestaron a 54 productores de Uruguay que utilizaba SPNT. Del total de los encuestados, la mayoría definía a su sistema como PRV (respetaban las leyes de Voisin y contaban con agua en todos sus potreros), seguido de predios con Pastoreo Racional (PR, manejos que buscan la racionalidad del pastoreo en general) y PR en vías de PRV. Los departamentos con mayor presencia de SPNT fueron Florida, Canelones y Tacuarembó. El promedio de número de potreros fue 86, y el de superficie de potrero fue de 7 ha. El 45% de los predios utilizaba agua en áreas sociales y el 38% lo hacía en cada parcela. El 38% de los productores no recibía asesoramiento y el resto lo recibía mediante asesor particular o mediante grupo de productores. A nivel de percepciones, lo que los productores más resaltaron fue: “posibilidad de permanencia en el campo”, “facilidad de manejo” y “recuperación del suelo”.

Posteriormente, entre 2020 y 2021, Favaro *et al.* (2021) encuestaron a 93 productores/as de Uruguay que aplicaban SPNT. La mayoría eran criadores bovinos (24%) y ovinos (41%), y definían su sistema como pastoreo rotativo (24%), PRV (21%) o PR (20%). En promedio, comenzaron la instalación de su SPNT hacía 5,5 años, este ocupaba el 64% de la superficie total del predio, contaban con 78 potreros, donde el tamaño más frecuente era de 1 ha. En promedio sostenían una carga de 1,5 UG/ha y obtuvieron resultados productivos de 237 kg de carne/ha en el último ejercicio. El 51% tenía agua en todos los potreros y solamente 2 de los encuestados tenía sombra en todos ellos. Los principales motivos para incursionar en un SPNT fueron productivos (82%) y económicos (78%), y las principales dificultades que enfrentaron fueron el manejo del agua y la sombra, y la inversión inicial. Por otra parte, luego de aplicar el sistema, la mayoría de los encuestados/as observó mejoras en las pasturas y en sus condiciones de trabajo. También hubo productores/as que lograron mejoras en el bienestar animal, la rentabilidad, aumentaron la carga y la producción de carne. Además, destacaron como ventajas de los SPNT tanto la previsibilidad como la resiliencia climática de estos sistemas. La mayoría de los productores/as encuestados/as pertenecía a organizaciones vinculadas a la temática, como la Sociedad Uruguaya de Pastoreo Racional (SUPRA) y la Asociación Uruguaya de Ganaderos del Pastizal (AUGAP), y también era frecuente que integraran otros grupos de productores regionales o nacionales; en unos pocos casos estaban relacionados con la agroecología (Centro Emmanuel, Red de Agroecología). En líneas generales, los/as productores/as pertenecientes a estas organizaciones tuvieron un Índice de Conformidad del PRV (IC-PRV; Wendling y Ribas, 2013) superior que el promedio de todos los productores encuestados (85% vs 69%).

2.2. El Pastoreo Racional Voisin (PRV)

El PRV puede definirse como un método racional de manejo del complejo suelo-planta-animal, caracterizado por el pastoreo directo con altas cargas instantáneas, tiempos cortos de ocupación y descansos variables para el mejor aprovechamiento de la pastura (Lenzi, 2012; Pinheiro Machado Filho *et al.*, 2021). Este sistema tiene sus orígenes en Francia, con las cuatro leyes de André Voisin (1957, 1974). Estas leyes surgen de observaciones que Voisin realizó en su campo en Normandía en 1954, en las cuales midió la producción de pastura por ha y por día con diferente cantidad de días de reposo, es decir, sin que los animales pastorearan (Voisin, 1957). Al graficar sus resultados (figura 1), obtuvo una curva sigmoidea, con dos períodos de crecimiento diferentes: una primera etapa de crecimiento exponencial, la cual denominó “llamarada de crecimiento” y una segunda etapa donde el crecimiento va disminuyendo, la cual llamó etapa de maduración. Llamó “punto óptimo de reposo” al punto en que comienza a disminuir el crecimiento de la pastura, posterior al punto de inflexión de la curva. La producción de pasturas en forma de curva sigmoidea ha sido descrita por otros autores. Brougham (1955) en Nueva Zelanda, estudió el comportamiento de ryegrass, trébol rojo y blanco en rotaciones de corto periodo y reportó que el primero presentaba una curva de crecimiento sigmoidea. También la tasa de crecimiento del campo natural de Uruguay se ajusta a una curva sigmoidea (Berretta, 2005). En términos generales, el crecimiento tanto de plantas como de animales se ajustan a este tipo de curva.

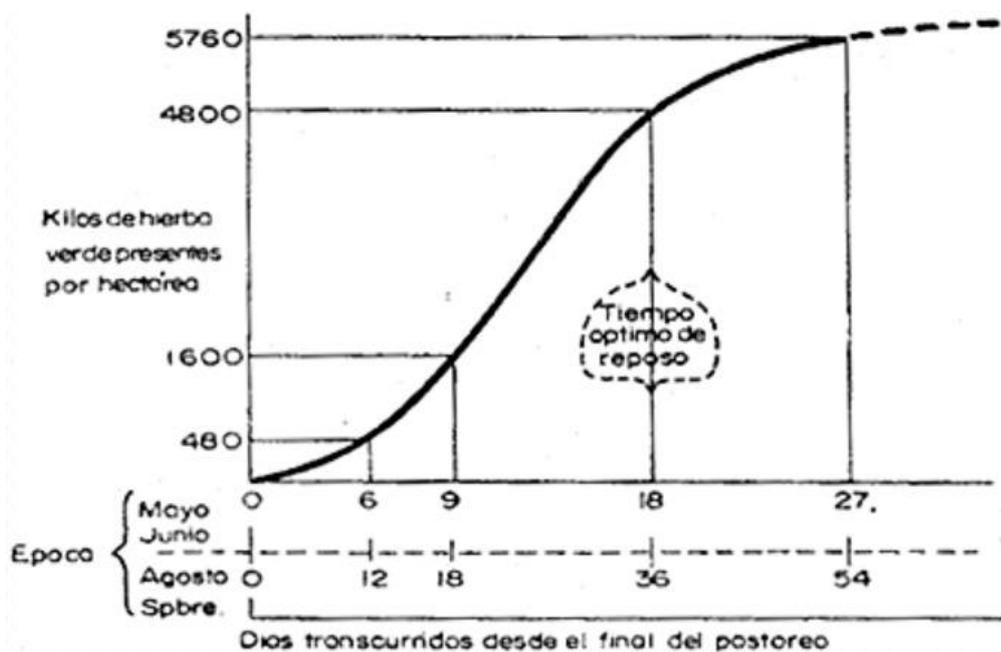


Figura 1. Curva sigmoidea del crecimiento de la pastura en dos estaciones diferentes de acuerdo a las observaciones de Voisin en Normandía, Francia.

Fuente: Voisin, 1957, versión traducida al español de 1974.

Tras estas observaciones, Voisin define cuatro leyes para el mejor aprovechamiento de la pastura en su libro titulado Productividad de la hierba (versión traducida al español en 1974). Voisin nombra a estas normas como “leyes universales del pastoreo

racional”, las cuales se basan en que el ganado pastoree cuando la pastura se encuentra en su punto óptimo de reposo.

1ª ley: ley del reposo. Establece que, entre un pastoreo y otro, debe haber pasado suficiente tiempo para que la pastura haya podido almacenar en sus raíces las reservas suficientes para un rebrote vigoroso, y que haya realizado su llamada de crecimiento. Dicho de otra forma, la pastura debe estar libre de animales durante un período de reposo suficiente para que, cuando sea pastoreada, se encuentre en su punto óptimo. Este período de reposo, como se mencionó anteriormente, es variable.

2ª ley: ley de la ocupación. Dice que los animales deben permanecer durante períodos suficientemente cortos como para que el rebrote de la planta no sea comido en el mismo pastoreo. Esta ley va de la mano de la primera: un período de ocupación prolongado significa un tiempo de reposo insuficiente. El período de ocupación considerado apropiado también es variable.

3ª ley: ley de los rendimientos máximos. Establece que los animales con mayores requerimientos nutricionales deben ser priorizados, teniendo acceso al mejor forraje, tanto cuali como cuantitativo.

4ª ley: ley del rendimiento regular. Establece la necesidad de la regularidad en la producción, para lo cual recomienda que el tiempo de ocupación sea de un día, y nunca más de tres.

Para cumplir con estas leyes, es necesario pastorear siempre el potrero que esté más cercano a su punto óptimo de reposo, sin importar a que distancia esté del potrero actualmente ocupado. Voisin denomina esto como “el arte de saber saltar” y es esta característica —utilizar tiempos de descanso variable y, por lo tanto, no utilizar una secuencia predeterminada— lo que diferencia al PRV de los pastoreos rotativos más tradicionales.

A partir de la década del '70, en Brasil, las leyes de Voisin son retomado por varios autores, entre los que destacan Romero (1995) y Pinheiro Machado (2011), siendo este último quien establece la denominación “Pastoreo Racional Voisin”. Pinheiro Machado (2011) toma las leyes planteadas por Voisin y agrega (o explicita) nuevas consideraciones, que contribuyen a aspectos como la agroecología y el bienestar animal, así como facilitan y aseguran el cumplimiento de las cuatro leyes originales:

- ❖ Todos los potreros deben tener sombra y agua disponible en cantidad y calidad suficientes para todos los animales.
- ❖ Las divisiones del sistema deben ser permanentes y tener una cantidad de potreros que permita tiempos de reposo apropiados. Además, se recomienda tener un buen sistema de corredores para poder mover el ganado entre potreros fácilmente.
- ❖ Se recomienda utilizar al menos dos lotes de ganado: uno de despunte (los animales de mayores requerimientos, que pastorean primero) y uno de repaso (animales de menores requerimientos, pastorean después) para maximizar la producción. El lote de despunte debería tener alrededor del 30% de los animales y el de repaso el restante 70%. El de repaso tiene que entrar

inmediatamente después del de despunte, el tiempo de ocupación considerado es el total de ambos lotes.

- ❖ No se deben utilizar agroquímicos ni fertilizantes químicos. Pinheiro Machado detalla que en algunos casos (suelos muy pobres y degradados) es necesaria una primera fertilización, pero solo al principio y de forma superficial, sin ninguna agresión al suelo.
- ❖ Se busca que las pasturas sean perennes y polifíticas.

2.2.1. *Difusión y resultados*

En la actualidad, el país donde más se ha difundido el PRV es Brasil, principalmente en predios familiares lecheros en la región de Santa Catarina (Bortoli *et al.*, 2005; Almeida *et al.*, 2011; Wendling y Ribas, 2013). El PRV también se encuentra en otros países del continente, como Argentina (Ojeda-Falcón *et al.*, 2014), Ecuador (Reyes Silva *et al.*, 2022), Venezuela (Sorio, 2010). También se utiliza en Canadá (Heiberg y Syse, 2020) y Estados Unidos (Murphy *et al.*, 1986), donde se le conoce como “Management Intensive Grazing”. A pesar de la adopción del PRV, los estudios que evalúan este tipo de sistema aún son escasos a nivel internacional y aún más a nivel nacional.

Se ha observado que la utilización de sistemas PRV mejora la composición del suelo, y que estos suelos tienen un mayor secuestro de C. En efecto, Ojeda-Falcon *et al.* (2014) estudiaron un sistema PRV en Santa Fe (Argentina) durante 18 años ininterrumpidos y reportaron que la acidez del suelo y conductividad eléctrica disminuyeron y aumentó su composición de carbono (C) y nitrógeno (N), en comparación con un cultivo de soja. A pesar de que el cultivo de soja recibía aportes anuales de fertilización inorgánica mientras que el PRV no era fertilizado; también se observó un valor mayor de fósforo, aunque las diferencias eran menores que con el C y el N. Seo *et al.* (2017) estudiaron 5 predios en Santa Catarina (Brasil) y observaron que suelos utilizados para lechería bajo el sistema PRV secuestraban mayores cantidades de C en las capas más profundas, más superficiales, y en el promedio total, en comparación con suelos no laboreados utilizados para agricultura.

A nivel productivo, se ha reportado aumento de la carga animal y de la productividad total tras la adopción del sistema PRV. Reyes Silva *et al.* (2022) realizaron una investigación descriptiva en un predio con PRV en Manabi (Ecuador) analizando datos de tres años (2014 a 2016). Reportaron que la producción de la pastura se incrementó 0,1 kg/m² por año, la carga animal aumentó de 0,7 a 2,4 UG/ha y la producción de leche aumentó 1,7 veces desde que se implementó el PRV. Por otra parte, Farley *et al.* (2012) encuestaron a 60 predios de Santa Catarina (Brasil) seleccionados al azar de una población de más de 600 que habían adoptado el sistema PRV. El 90% de los encuestados reportó que había aumentado la carga animal, la productividad por animal y la productividad total luego de adoptar el PRV. Además, el 65% reportó que la producción de la pastura había aumentado en cantidad y calidad, mientras que 25% indicó que solo había aumentado en cantidad y 8% solo en calidad. En ganado de carne, Lenzi *et al.* (2009) compararon el desempeño de una pastura de

Panicum maximum bajo PRV y pastoreo continuo durante 120 días y observaron que en el pastoreo continuo se obtuvieron las mayores ganancias individuales de los animales (930 vs. 835 g/día), mientras que el PRV presentó mayor crecimiento de la pastura (95,5 vs 60,0 kg de materia seca/ha/día) y carga animal (844 vs 560 kg/ha), obteniendo una ganancia de kg/ha 23% mayor en PRV que en pastoreo continuo. En Uruguay, Garibotto Carton (2016) presentó los resultados de un predio ganadero del noreste del país; la carga animal promedio anual fue de 1,73 UG/ha y la producción promedio de peso vivo de 242,3 kg/ha/año.

A nivel económico, se ha observado una disminución de los costos de producción tras la instalación de un sistema PRV. Murphy *et al.*, (1986) analizaron los datos de 6 predios lecheros en Vermont (Estados Unidos) que utilizaron PRV durante la temporada de pastoreo (de abril a octubre). Los autores reportaron una disminución en los costos, principalmente debido al aumento de los litros de leche producidos por cada kg de ración (inicio: 2,6 - 2,8 L, post PRV: 3,8 - 4,4 L). Además, al analizar muestras de pastura de estos establecimientos, encontraron que el contenido de proteína cruda y energía metabolizable era superior al que se estimaba al calcular la suplementación para el ganado. Estimaron que las ganancias netas por animal eran de entre 37 y 98 dólares; estos valores podrían ser mayores si el consumo de concentrado disminuyera aún más, se considerara la disminución de otros costos que no se incluyeron en este cálculo (como disminución de las horas de trabajo, equipamiento, maquinaria y electricidad), y si los animales utilizaran la pastura de forma más eficiente (los autores plantean que las razas utilizadas en Estados Unidos podrían tener una selección en contra de la eficiente utilización de la pastura). Por otra parte, Sorio (2010) también observó una disminución de los costos debido a la reducción de la suplementación con concentrado, al estudiar dos predios de búfalos de producción lechera tras la instalación del PRV. En el primer predio, la producción diaria promedio por animal se redujo, pero, a su vez, se redujo el concentrado diario que se aportaba por animal y la relación litro de leche por kg de ración aumentó, con lo que se obtuvo una ventaja económica. En el segundo predio, se observó un aumento de la carga animal del 4% en cabezas totales y de 588 kg a 802 kg de PV/ ha, mientras que se mantuvo la producción diaria por animal. En el caso del predio estudiado por Reyes Silva *et al.* (2022), también se observó una reducción de los costos: los costos por litro de leche disminuyeron 8,3%, explicado por el aumento en la producción y la disminución de los insumos externos, principalmente de alimentación. Por otra parte, el 49% de las familias encuestadas por Farley *et al.* (2012) reportaron que disminuyeron sus horas de trabajo (lo cual, tras valorizar la mano de obra familiar, también implica una reducción de los costos para el sistema) y una mejora en la calidad de vida, luego de adoptar el sistema PRV.

2.2.2. Desafíos para su implementación y evaluación

Si bien en la literatura se presentan múltiples ventajas del sistema PRV, también se observan desafíos y dificultades (Pinheiro Machado Filho *et al.*, 2021). Quizás la mayor de ellas es la inversión inicial requerida para instalar un PRV, lo cual incluye la división de la superficie en potreros relativamente pequeños y la distribución de

agua para que todos cuenten con bebederos. Existen pocos trabajos que evalúen esta inversión, y también son escasos los estudios que incluyan la depreciación de estas instalaciones cuando realizan su evaluación económica.

Murphy *et al.* (1986) plantean que los costos de instalación de PRV pueden variar desde menos de 200 a más de 5.000 dólares/ha, dependiendo el monto de la topografía, los materiales disponibles y las instalaciones previas. Duque Montoya y Fonnegra Páez (2018) estimaron los costos de instalar un sistema PRV para vacunos de carne en la Escuela Agrícola Panamericana (Zamorano, Honduras), resultando en una inversión promedio de 753 dólares/ha (incluyendo costos de materiales y mano de obra). Sin embargo, si solo se consideran los circuitos con potreros de superficie igual o mayor a una ha, la inversión promedio disminuye a 557 dólares/ha. Por otra parte, González *et al.* (2017) en Uruguay, estimaron la inversión de un sistema PRV para ovinos en 6 ha, divididas en 51 potreros. El costo fue de 2.367 dólares/ha. e incluyó los materiales para las divisiones (incluido el alambrado perimetral) y su electrificación, la distribución y el almacenamiento de agua, y la mano de obra. Sin embargo, los autores mencionan que la utilización de mano de obra propia disminuiría los costos en efectivo en un 37%, y también disminuirían si se excluyen de la inversión las instalaciones comunes, que suelen tenerse en sistemas independientemente de si son PRV o no, como energía eléctrica y tanque de agua. Una estrategia posible es la instalación progresiva del sistema, de modo que no se realice toda la inversión en un mismo momento, si no escalonada en el tiempo. Como consecuencia del uso de esta estrategia, es frecuente que los predios con mayor antigüedad tengan mayor grado de cumplimiento de las leyes del PRV que aquellos que comenzaron a utilizarlo hace menos tiempo.

Dificultades planteadas para la evaluación de predios que utilizan el sistema PRV incluyen reparos con la información obtenida por parte de los productores, cómo inconsistencias en la clasificación de costos (Almeida *et al.*, 2011) y la gran variabilidad que existe entre predios que se denominan PRV (Wendling y Ribas, 2013). Esto se debe al gran número de factores que considera el PRV y a la dificultad de implementar algunos de ellos, ya sea por motivos económicos (como la inversión inicial, ya mencionada), o a los cambios de manejo que implican. Esto resulta en una considerable heterogeneidad entre predios que se autodenominan como PRV, y también surgen otras denominaciones, como “predios en vías de ser PRV”. Souza y Ribas (2011) elaboraron un Índice de Conformidad del PRV (IC-PRV), que posteriormente fue ampliado por Wendling y Ribas en 2013, utilizado para cuantificar el grado de cumplimiento de las leyes del PRV en diferentes establecimientos. EL IC-PRV consiste en evaluar, mediante preguntas a los/as productores/as y visitas a los establecimientos, diferentes características de los sistemas que se relacionan directamente con las leyes del PRV descritas por Voisin y las consideraciones ampliadas por Pinheiro Machado. La información recabada se mide en un único indicador, donde un valor de 100% indica el cumplimiento total de todas las características. Las características evaluadas y la escala utilizada se detallan en el Trabajo 1 de la presente tesis.

En el trabajo de Souza y Ribas (2011), se analizaron datos de 6 sistemas de producción familiar de lechería de Santa Catarina (Brasil), que obtuvieron un promedio de IC-PRV de 67,7%. En el caso de Wendling y Ribas (2013), analizaron 20 predios familiares de lechería, también de Santa Catarina, y obtuvieron un IC-PRV promedio de 77,5%. Los predios evaluados en ambos trabajos, en general, tuvieron sus mejores puntuaciones en las características relacionadas al no uso de fertilizantes químicos ni agroquímicos, así como en el respeto del tiempo de ocupación y el número de potreros. Por otra parte, la característica peor puntuada fue la de sombra en potreros. Esta herramienta permite analizar de forma objetiva los predios que utilizan sistemas PRV, y también ayuda a comprender cuáles son los aspectos del PRV que se adoptan con mayor frecuencia y cuáles presentan más dificultades en su incorporación.

Otra deficiencia observada al revisar la literatura que evalúa sistemas PRV es que, mientras los trabajos que estudian sistemas PRV son abundantes en producción lechera, los que analizan PRV con ganado de carne (Lenzi *et al.*, 2009; Garibotto Carton, 2016) u ovinos (Benítez *et al.*, 2018; González *et al.* 2017) son escasos. Esta información resulta de gran importancia para Uruguay, donde la mayoría de los predios que adoptan el sistema PRV son de ganadería vacuna y, en menor medida, ovina.

2.3. La evaluación de sistemas agropecuarios familiares

Guerra (2002) define a la empresa agropecuaria como “una unidad de decisión que combina conocimiento e información, recursos naturales, humanos y de capital, con el fin de producir bienes de origen animal y vegetal, para un determinado mercado y dentro de una operación rentable y sostenible”. El modelo clásico de la empresa agropecuaria parte del supuesto de que las personas a cargo son agentes económicos que actúan buscando maximizar sus ganancias (Chía *et al.*, 2003). Sin embargo, esta visión es cada vez más cuestionada, ya que no considera otros factores que se ponen en juego a la hora de tomar decisiones. En efecto, la economía del comportamiento incorpora aspectos de la psicología y otras ciencias sociales al estudio de las decisiones económicas, que no son considerados en el modelo clásico (Thaler, 2016). Los seres humanos toman decisiones basados en expectativas sobre las consecuencias que esas decisiones tienen, pero también en los numerosos factores exógenos que pueden contribuir a diseñar el futuro. Se ha observado que frecuentemente las expectativas que se asumen como racionales por la economía clásica difieren de las expectativas reales de las personas que toman las decisiones (Thaler, 2018). Las expectativas y factores que influyen en la toma de decisiones resultan fundamentales a la hora de evaluar sistemas familiares, donde la explotación productiva se relaciona estrechamente con la familia que lo hace.

Osty (1978) propuso el concepto de sistema familia-explotación, entendiendo como tal el entorno físico donde vive y actúa el/la productor/a y su familia. En un sentido amplio, se puede definir a los sistemas familiares como aquellos donde la mayoría o la totalidad de la mano de obra es aportada por la familia (Piñeiro, 2004). Por otra parte, en Uruguay se define como productor/a familiar a quienes gestionan

directamente una explotación y/o realizan una actividad productiva agraria junto con su familia, cumplen simultáneamente con los siguientes requisitos: 1) llevan a cabo la actividad productiva con la contratación de mano de obra asalariada de no más de dos asalariados no familiares permanentes o a su equivalente en jornales zafrales; 2) explotan una superficie no mayor a 500 hectáreas, índice CONEAT 100, bajo cualquier forma de tenencia; 3) residen en la explotación agropecuaria o en una localidad a no más de 50 km de distancia; 4) los ingresos nominales familiares no generados por la explotación no superan los 14 BPC (base de prestaciones y contribuciones) en promedio mensual (MGAP, 2016); esta herramienta ha sido utilizada para desarrollar políticas públicas diferenciales.

Para poder comprender las decisiones, necesidades y funcionamiento de este tipo de explotación, resulta necesario considerar la situación y los objetivos de la familia (Ruiz y Oregui, 2001). Estos aspectos se sobreagregan al ya complejo proceso biológico de producción animal y/o vegetal, y a las características del medio externo donde se encuentra inserto el sistema, haciendo que la toma de decisiones deba tener en cuenta una gran cantidad de factores.

En general, el desempeño económico de los predios ganaderos se mide y se evalúa en base a indicadores de la economía clásica, como la Rentabilidad, el Margen Bruto (MB) y el Ingreso Neto o Ingreso de Capital Propio (IKP) (Figari, 2009). La rentabilidad es el indicador que muestra el resultado financiero y patrimonial; para estimarla se toma en cuenta la ganancia cada 100 unidades de activos propios utilizados en la actividad durante el ejercicio agrícola (medida relativa) y se expresa en % (Álvarez y Falcao, 2011). El MB es la diferencia entre ingresos o Producto Bruto (PB) y costos directos, siendo estos últimos aquellos costos que están relacionados directamente con la producción en particular que se está evaluando (Barnard y Nix, 1984), mientras que el IKP se obtiene tras restar el total de los costos al PB (Álvarez y Falcao, 2011). A pesar de que la utilidad de estos indicadores para la toma de decisiones puede ser discutida, resultan útiles en las empresas familiares en la medida que el/la productor/a conoce su propio margen de acuerdo a sus condiciones específicas (Villanova y Justo, 2003).

El que la mayoría o la totalidad de la mano de obra en estos sistemas sea de carácter familiar implica que no hay un desembolso en efectivo por este costo, por lo que para realizar el análisis económico de este tipo de sistema resulta necesario adjudicarle un ficto, comúnmente llamado salario ficto. Los criterios para asignar este ficto son diversos, entre ellos, se puede valorizar la hora de trabajo según lo que costaría contratar a una persona para realizar la misma tarea (Colnago y Dogliotti, 2020); o considerar un costo de oportunidad según el salario al cual podría acceder la familia si en vez de trabajar en el predio trabajara fuera del mismo (Jiménez Jiménez *et al.*, 2014). Este salario ficto es un costo para la empresa, sin embargo, forma parte de la ganancia de la familia. Para distinguir los ingresos de la empresa de los de la familia, se utiliza el indicador Ingreso Familiar Neto (IFN) (Álvarez y Falaco, 2011), el cual se obtiene tras sumar el salario ficto al IKP. Mientras que el IKP mide la ganancia de

la empresa en términos absolutos, el IFN indica la capacidad de la familia de captar beneficios (Álvarez y Falaco, 2011).

Los indicadores económicos por si solos ofrecen una visión limitada del desempeño de una empresa, más aún cuando se trata de una familiar. En el proceso de toma de decisiones intervienen múltiples objetivos, como productivos, económicos y ambientales; y, en el caso de los predios familiares, también se agregan los intereses de la familia, pudiendo incluso encontrarse objetivos contrapuestos. En esta línea, la teoría sistémica plantea que todos los objetos y acontecimientos son parte de otros mayores, y que estudiar los componentes del sistema por separado no bastaría para comprenderlo, sino que sería más lógico llevar a cabo un trabajo multidisciplinario (Ruiz y Oregui, 2001). Un ejemplo de evaluación multidimensional para sistemas de producción ganadera es el planteado por Febrer *et al.* (2021) a través de la elaboración de un conjunto de indicadores de sustentabilidad para las dimensiones económica, ambiental y social. Algunos ejemplos de los indicadores que utilizaron incluyeron: i) dimensión económica: productividad e ingreso neto; ii) dimensión social: satisfacción de los productores con respecto al resultado económico y productivo, y tiempo libre; iii) dimensión ambiental: índice de conservación de la pastura, carga animal y número de potreros.

Es así que, al evaluar los sistemas productivos, se debe tener en cuenta que sus resultados pueden ser influidos por diversos factores de naturaleza distinta, por lo que se hace necesario utilizar indicadores que abarquen las distintas dimensiones. En Uruguay, se ha producido una degradación del campo natural, que en conjunto con variables macro-económicas, ha reducido la rentabilidad de las empresas ganaderas (Ayala, 2010). Esto se sobreagrega a la creciente competencia por el recurso tierra y agua debido a la expansión de otras actividades, como la agricultura y la forestación (Carvalho *et al.*, 2008). Como resultado, se observa una creciente acumulación de tierra por parte de grandes establecimientos y una disminución de las empresas agropecuarias pequeñas, si bien estas continúan siendo la mayoría. En el anuario estadístico de 2021 figura que el 69% de los predios ganaderos tiene 200 ha o menos (DIEA, 2021). Es un desafío para la ganadería de la región alcanzar un retorno económico que la haga competitiva, contemplando a la vez aspectos sociales y ambientales (Ayala, 2010). La investigación debe desarrollar mecanismos para describir a los sistemas que permitan analizar su posible evolución en relación a las modificaciones del entorno; en este sentido, una línea de investigación de marcado interés es la simulación mediante la construcción de modelos (Ruiz y Oregui, 2001).

2.4. Los modelos de simulación de sistemas agropecuarios

El sector agropecuario se enfrenta a constantes cambios sociales, económicos, demográficos y climáticos, los cuales debe afrontar con nuevas herramientas que brinden información oportuna para enriquecer el proceso de toma de decisiones, permitiendo una mayor precisión y eficiencia. Las tecnologías que permiten la rápida captura y utilización de datos ambientales y del ganado, incluso en sistemas

extensivos, contribuyen a mejorar la productividad, eficiencia, bienestar animal y sustentabilidad de estos sistemas (Greenwood, 2021).

Los modelos son una potente herramienta que puede contribuir a la generación de conocimiento y a la toma de decisiones. La aplicación del modelado -en términos generales- tiene una amplia utilización histórica en la planificación y evaluación de sistemas productivos, contribuyendo a la mejora en la eficiencia del uso de recursos (McKnight e Ibeagha, 2019). Los modelos pueden utilizarse para describir agroecosistemas, responder preguntas y resolver problemas (Railsback y Grimm, 2019). Además, ayudan a interpretar resultados experimentales, por lo que son herramientas tanto para los/as investigadores/as como para los/as productores/as (Thornley y France 2007), y permiten evidenciar las carencias de información, ayudando así a orientar futuras investigaciones (Boote *et al.*, 1996). El modelado proporciona un marco para la integración del conocimiento científico y permite apoyar la toma de decisiones para la mejora de los sistemas de producción animal en una variedad de niveles (Tedeschi *et al.*, 2011). Asimismo, los modelos permiten establecer el diálogo técnico entre productores, investigadores y otros actores, funcionando como una plataforma de aprendizaje (Wedderburn *et al.*, 2013). Ruiz y Oregui (2001) plantean que los modelos de producción animal deberían intentar cumplir con las siguientes características: describir a nivel de funcionamiento básico (ej. lactación, fotosíntesis); ser lo más genérico posible, para que se pueda extrapolar fácilmente a condiciones diferentes; tener estructura modular, de manera que, en ausencia de datos relativos a un subsistema, los demás puedan seguir funcionando; y ser sencillo en su utilización. Para mejorar estos modelos, se necesita mejorar la representación de las formas de manejo y la toma de decisiones de los productores, así como de la heterogeneidad espacio temporal, la variabilidad climática y la integración del conocimiento tanto experimental como empírico (Bryant y Snow, 2008).

2.4.1. *Modelado participativo y modelado multiagente*

El modelado participativo (*companion modelling*) es una herramienta de co-construcción que permite compartir información y entendimiento entre diferentes actores (Etienne *et al.*, 2014). Se encuentra en la intersección entre investigación y un proceso colaborativo de toma de decisiones (Etienne *et al.*, 2014), lo que lo hace ideal para incentivar el intercambio y la discusión entre productores/as, profesionales, técnicos/as e investigadores/as. Bousquet *et al.* (1999) se refieren al método como aquel que tiene en consideración las reglas colectivas que gobiernan el acceso a los recursos, permitiendo estudiar el sistema de interacciones entre las dinámicas ecológicas y sociales. Se utiliza para trabajar problemáticas en el manejo de recursos naturales, como pueden ser el agua o la tierra, especialmente en casos donde hay diversos agentes que participan en la toma de decisiones y, por lo tanto, donde hay múltiples intereses. El modelado participativo permite a los actores expresar sus percepciones de la situación presente y de su evolución en el tiempo (Bousquet *et al.* 1999), siendo una herramienta adecuada para tratar problemáticas de largo plazo, como suelen serlo las relacionadas a recursos naturales. El método ARDI (Actores,

Recursos, Dinámicas e Interacciones) es un método de modelado participativo para casos complejos donde participan muchos actores que toman decisiones en un territorio (Etienne *et al.*, 2008). Se realizan diversos talleres con los actores con la finalidad de co-construir un modelo conceptual del territorio o sistema en cuestión, elaborado a partir de preguntas disparadoras. Estas preguntas apuntan a identificar cuál o cuáles son los principales recursos del territorio y cuál es la información clave necesaria para asegurar un uso sustentable de éstos, quiénes son los actores involucrados en la toma de decisiones y uso de estos recursos, y cuáles son los principales procesos que producen cambios en la dinámica de estos recursos (Etienne *et al.*, 2008). La riqueza del modelo resultante depende en buena medida de los participantes, por lo que la periodicidad de los talleres y la modalidad de invitación, entre otros, deben ser tenidos en cuenta para asegurar una participación adecuada. Etienne *et al.* (2008) destacan la importancia de contar con un “grupo núcleo” de participantes que estén presentes a lo largo de todo el proceso. Una vez elaborado el modelo conceptual, es posible adaptarlo a otras formas de modelado más complejas, como puede ser el modelado multiagente.

Railsback y Grimm (2019) definen a los sistemas multiagentes (ABM) como el tipo de modelado que genera sistemas compuestos por agentes autónomos, es decir, individuos capaces de interactuar entre sí y con el ambiente, y de diferenciarse a través del tiempo y el espacio. Este tipo de modelos se superpone en algunos aspectos con el modelado basado en individuos, el cual se utiliza en la ecología para estudiar el comportamiento de poblaciones, donde los procesos involucrados son individuales (Bousquet *et al.* 1999). El ABM no describe al sistema como un todo, utilizando variables que representan el estado del sistema en su conjunto, sino que modela individuos independientes, permitiendo que se diferencien, puedan adaptarse a cambios ambientales y reaccionar a señales de otros agentes (Railsback y Grimm, 2019).

Las decisiones respecto a la carga animal y a la gestión espacio temporal son decisivas para que los sistemas en base a pastoreo sean eficientes (Jakoby *et al.*, 2015). Para el caso del PRV (u otros métodos de pastoreo rotativo), donde una de las características fundamentales es la no utilización de una secuencia de pastoreo predeterminada (Pinheiro Machado, 2011) y, por ende, en el mismo momento, cada potrero puede tener una disponibilidad de forraje y un tiempo de descanso diferente, la representación del sistema en el espacio resulta especialmente relevante. El ABM tiene la ventaja de la espacialización del problema, permitiendo modelar agentes autónomos capaces de reaccionar a cambios en las características del ambiente (Railsback y Grimm, 2019). Este tipo de modelo permite la evaluación de agroecosistemas complejos, modelando la heterogeneidad entre individuos y en el espacio (en este caso, entre diferentes potreros), así como diferentes prácticas de manejo a lo largo del tiempo y el espacio. Esta herramienta también posibilita la representación de diferentes escenarios, así como el estudio de efectos a largo plazo, la incorporación de elementos de incertidumbre, trabajar en simultaneo gran cantidad

de variables y, en general, analizar sistemas en situaciones que no son factibles para la experimentación (Ruiz y Oregui, 2001).

2.4.2. *Antecedentes de modelos de simulación de sistemas de producción en Uruguay*

En Uruguay, el modelado de sistemas agropecuarios se ha utilizado tanto como herramienta de investigación como de plataforma de aprendizaje e intercambio entre productores/as y profesionales. El MEGanE (Modelo de una Explotación Ganadera Extensiva) se desarrolló con el objetivo de mejorar la comunicación entre productores/as y técnicos/as sobre los efectos de la sequía. El modelo se elaboró con las características de la región de basalto, considerando al campo natural como única fuente de alimento para el rodeo (Dieguez *et al.*, 2012). El modelo incluyó un coeficiente climático (CC), el cual afectaba la tasa de crecimiento de materia seca, para representar la variabilidad climática, es decir, la diferencia entre una estación con respecto a su promedio histórico. Se observó que la variación en el CC influía fuertemente en los resultados del sistema, considerándose esta variable de importancia para el desarrollo y las simulaciones de sistemas agronómicos (Dieguez y Terra, 2014).

Posteriormente, Dieguez y Fort (2017) elaboraron un modelo denominado PPGL (Predatory-Prey Grassland Livestock), a partir del modelo clásico de Lotka-Volterra (Pastor, 2008), sobre las dinámicas entre el forraje y el ganado. El PPGL es un modelo con bases ecológicas, cuyo principal objetivo es proporcionar una herramienta de manejo cuantitativo para la producción ganadera de precisión. El PPGL generalizó el MEGanE, solucionando algunos de sus problemas estructurales de estabilidad. Una segunda versión del PPGL incluyó variables económicas, considerando costos fijos y variables promedio del Instituto Plan Agropecuario (IPA) y precio de venta por kg de acuerdo a lo que recibían los productores (Dieguez y Fort, 2019). Se observó un comportamiento cúbico entre el producto bruto y la carga animal, acorde con el modelo teórico de Mott (1960), donde el valor máximo dependió de la altura inicial de la pastura y del CC.

Por otra parte, el modelo “PASpALuM” (PAmpa Sustainable grAZing Livestock Management) simula el desempeño productivo y ambiental de sistemas ganaderos basados en pastoreo, en respuesta a diferentes opciones de manejo (Modernel *et al.*, 2019; Ruggia *et al.*, 2019). Este modelo incluyó, además del crecimiento de la pastura y la ganancia de peso del ganado, un módulo de mitigación del cambio climático, expresado en las variables de emisiones de gases de efecto invernadero y secuestro de C del suelo. El desarrollo de este modelo incluyó parámetros que permitieran evaluar el impacto de la altura y acumulación del forraje sobre el consumo voluntario, y a su vez, de este sobre la dinámica de la pastura.

Los casos de ABM de ganadería en Uruguay son escasos. Quizás el más notorio sea el modelo “Sequia Basalto”, que simula un sistema ganadero enfrentado al déficit hídrico (Bartaburu *et al.*, 2011). Se desarrolló en un contexto participativo, realizando

talleres con productores y técnicos, para establecer de manera colectiva las características más relevantes que debían ser incluidas en el modelo. Esta metodología de modelado participativo contribuyó al entendimiento y a la comunicación de las consecuencias de la sequía y mejoró la capacidad adaptativa de los productores uruguayos de la región de basalto (Bommel *et al.*, 2014).

Otro ejemplo es el modelo “Arapey”, el cual representa diferentes tipos de productores, según sus estrategias financieras y de carga animal, así como las consecuencias de estas decisiones (Morales, 2007). En este modelo, todos los tipos de productores/as comparten la función de producción y el ambiente externo, diferenciándose únicamente por las decisiones estratégicas, definidas como “seguras” (no tomar créditos y usar cargas bajas) o “riesgosas” (tomar créditos y usar cargas altas). El trabajo corroboró que es necesario tener en cuenta las decisiones estratégicas, además de las operativas (asociadas al ciclo anual de operaciones), para poder describir la evolución de los predios.

Queda evidenciado que los modelos ganaderos en Uruguay son casi exclusivamente de sistemas extensivos y pastoreo continuo, no encontrándose ejemplos de modelos que utilicen formas de pastoreo rotativos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si bien se ha observado que la adopción del PRV ha incrementado, tanto en Uruguay como a nivel mundial, la información productiva acerca de este tipo de sistemas es escasa, y la información económica lo es aún más. La heterogeneidad entre predios (en concreto, la diversidad en el grado de adopción de las características establecidas por Voisin y Pinheiro Machado) plantea desafíos a la hora de evaluar y comparar sistemas que se denominan PRV. Como consecuencia, la comprensión de estos sistemas, así como las razones que motivan su adopción, son aún limitadas.

El ABM se presenta como una potente herramienta para estudiar sistemas complejos, como es el caso del PRV. A través de la simplificación, es posible simular el funcionamiento de un sistema, así como sus resultados productivos y económicos. Esta herramienta permite la generación de escenarios diversos, modificando variables de manejo como la carga animal o la altura de pastura mínima a partir de la cual ingresan los animales a un potrero, u otras del ambiente, como el precio de venta del ganado o un CC que afecte el crecimiento de la pastura. A partir de estos escenarios se puede determinar cómo optimizar el sistema para las situaciones simuladas, por ejemplo, la carga óptima. Además, el modelado participativo se utiliza para construir modelos de manera grupal, lo que permite integrar la visión de productores que utilizan el sistema PRV al modelo multiagente.

La evaluación productiva y económica de predios que utilizan PRV, así como la caracterización de estos sistemas en cuanto a su grado de adopción de las características planteadas por Voisin y Pinheiro Machado, constituyen un trabajo novedoso en Uruguay. Utilizar esta información para la elaboración de un ABM, en un proceso participativo que integre la visión de los productores que utilizan el sistema, puede aportar una herramienta original a un área donde la investigación es aún escasa.

4. HIPÓTESIS

Debido a la naturaleza exploratoria e interdisciplinaria de esta tesis, se plantea una hipótesis general orientadora, a modo de guía y nexo para los trabajos que componen la tesis. En segunda instancia, se plantean tres subhipótesis, orientadas a cada uno de los tres trabajos que conforman la tesis.

4.1.Hipótesis orientadora

La evaluación multimetodológica mediante la utilización de diversas herramientas puede aportar una visión amplia de la realidad de los sistemas ganaderos que utilizan PRV en Uruguay.

4.2.Subhipótesis

H1: La caracterización del grado de implementación del PRV mediante una evaluación objetiva de diferentes características aporta información útil para comparar sistemas PRV con trayectorias diversas, y podría contribuir al entendimiento de sus resultados productivos y económicos.

H2: La evaluación objetiva clásica mediante indicadores económicos y productivos permite encontrar similitudes entre predios diferentes que utilizan PRV, así como identificar diferencias con predios de manejo clásico.

H3: El ABM es una herramienta apropiada para la elaboración de un modelo de un sistema PRV y escenarios diversos para medir su resiliencia, y este modelo puede verse fortalecido al utilizar una metodología participativa e integrando variables de predios reales para su elaboración.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Contribuir al estudio del sistema de Pastoreo Racional Voisin en sistemas ganaderos utilizando herramientas de diagnóstico de su grado de implementación, análisis bio-económico y modelado multiagente.

5.2. Objetivos específicos

1. Identificar el grado de aplicación del PRV en predios ganaderos familiares de Uruguay utilizando la herramienta IC-PRV y determinar cuáles características se priorizan en la instalación y manejo de estos sistemas.
2. Caracterizar los resultados productivos y económicos de cuatro predios familiares (tres vacunos y uno ovino) que utilizan PRV en Uruguay.
3. Desarrollar un modelo bio-económico ABM de un sistema PRV a partir de la información recabada de los predios estudiados.
4. Evaluar la resiliencia del modelo mediante desafíos de diversos escenarios de carga animal, precio de venta y coeficiente climático.

6. ESTRATEGIA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta tesis está estructurada sobre la base de tres trabajos, los cuales se corresponden con los objetivos específicos de la siguiente manera:

El primer trabajo corresponde al primer objetivo específico, para el cual se evaluó el IC-PRV de cuatro predios con sistemas PRV. Este trabajo fue presentado en el II Congreso Argentino de Agroecología y un manuscrito será enviado para su consideración a una revista arbitrada. El poster se presenta en el anexo I.

El segundo trabajo corresponde al segundo objetivo específico, para el cual se evaluó la información productiva y económica de los mismos predios estudiados en el primer trabajo. Los resultados fueron publicados en la revista Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, el artículo se presenta en el anexo II.

El tercer trabajo corresponde al tercer y cuarto objetivo específico, y consiste en el desarrollo del ABM y la realización de simulaciones. Para su elaboración, se utilizó una metodología participativa, realizando talleres con un grupo de productores que incluyó, entre otros, a los propietarios de los predios evaluados en los trabajos anteriores. Además, se utilizó la información productiva y económica recabada en el segundo trabajo para la implementación del modelo. Este trabajo fue presentado en el VII Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal y un manuscrito será enviado para su consideración a una revista arbitrada. El poster se presenta en el anexo III.

6.1.Descripción de los predios estudiados

Los predios analizados fueron escogidos por contar con un sistema de registros propio previo al estudio y porque los productores manifestaron su compromiso de compartir la información productiva y económica con nuestro equipo, ambas condiciones necesarias para poder asegurar la calidad de la información. Además, se buscó que todos los predios tuviesen un mínimo de un año desde comenzada la instalación del PRV al comienzo del análisis, Por considerar que en trayectorias menores los sistemas podrían encontrarse en etapas muy tempranas de su transición y esto podría repercutir en sus resultados. Por tratarse de un primer estudio en el tema, se buscó explorar la variabilidad de los productores que utilizan este sistema, con estudios económicos en profundidad, por los tanto, los resultados no pueden considerarse representativos de los sistemas PRV de Uruguay

Se estudiaron cuatro predios familiares, entendiéndose como tal a una explotación trabajada predominantemente con mano de obra de la familia (Piñeiro, 2004), ubicados al suroeste de Uruguay (34° S 57° O). Los predios vacunos se identificaron del 1 al 3 y al predio ovino se le asignó el número 4. El predio 1 contaba con campo natural mejorado y praderas; el 2 con vegetación espontánea, campo natural mejorado y praderas; el 3 con praderas; y el 4 con vegetación espontánea, praderas y verdeos. Los/as productores/as propietarios/as estaban vinculados a organizaciones y/o grupos relacionadas al pastoreo racional y a la agroecología.

En el cuadro I se presentan indicadores descriptivos de los predios.

Cuadro I. Indicadores descriptivos de cuatro predios (1, 2, 3 y 4) que utilizaban Pastoreo Racional Voisin en toda o parte de su superficie.

Predio	1	2	3	4
Rubros productivos en PRV	Vacunos Ciclo completo	Vacunos Recría invernada	Vacunos e Recría Nueces pecan	Ovinos Cría
Superficie total	124	31	3,3	7,5
Superficie de pastoreo ganadera (SPG)	117	30	3	7
Superficie en PRV	37	24,5	3	7
% de superficie pastoreo	32	82	100	100
Unidades Ganaderas/ ha	1,32	0,74	2,35	1,83
Índice CONEAT	91	93	214	138
Año de inicio del PRV	2013	2012	2012	2017

Superficie total, superficie de pastoreo y superficie en PRV se expresan en ha. Unidades ganaderas/ha corresponden al promedio de ambos ejercicios. Índice Coneat según CONEAT (1979).

7. TRABAJO 1

Este capítulo presenta el análisis de los cuatro predios según el Índice de Conformidad de Wendling y Ribas (2013). El objetivo de este trabajo fue identificar el grado de aplicación del PRV en predios ganaderos familiares de Uruguay utilizando la herramienta IC-PRV y determinar cuáles características se priorizan en la instalación y manejo de estos sistemas.

7.1. Materiales y métodos

La información se relevó entre 2019 y 2021 mediante dos visitas prediales y una reunión virtual individual con cada productor. Esta información se utilizó para caracterizar los sistemas y evaluarlos mediante el IC-PRV, siguiendo los criterios establecidos por Wendling y Ribas (2013): se obtuvo información de 10 características que fueron evaluadas de forma independiente, utilizando una escala del 1 al 5. Una calificación de 5 indica que se adopta por completo, una de 3 que se adopta en una proporción de 50%, y de 1 que nunca se adopta.

Para facilitar su discusión, en este trabajo las diez características se presentan en tres categorías:

Características directamente relacionadas a las cuatro leyes de Voisin

1- Número de potreros: la correcta división del área de pastoreo es uno de los aspectos más importantes del PRV. Sin embargo, no existe unanimidad respecto a cuál es el número óptimo de potreros. Pinheiro Machado (2011) y Pinheiro Machado Filho (2011) afirman que se debe calcular en base al tiempo de reposo, tiempo de ocupación y número de lotes. Siguiendo los mismos criterios que Wendling y Ribas (2013), se calificó con 5 a los predios que tenían al menos 60 potreros, y con 4 a aquellos que tenían entre 40 y 60 potreros.

2- Respeta tiempo de reposo: corresponde a la primera ley de Voisin. El tiempo de reposo óptimo depende, entre otros factores, de las especies de pastura que utiliza el predio y del clima de la región, por lo que su evaluación es compleja. Se busca que los potreros presenten pasturas en diferentes estadios de maduración y que no sean pastoreados según una secuencia fija, lo que correspondería a un pastoreo rotativo tradicional y no a un PRV. Se otorgó una puntuación de 5 en predios que siempre realizaban pastoreo de manera no secuencial y sin un tiempo de reposo fijo, este dependía de las observaciones de los productores. Un valor de 4 se otorgó cuando excepcionalmente no se pastoreaba los potreros en condiciones óptimas y un puntaje de 3 cuando se incumple con mayor frecuencia (por ejemplo, moviendo animales a potreros cercanos en vez de a los que están en estado óptimo).

3- Respeta tiempo de ocupación: corresponde a la segunda ley descrita por Voisin, que busca evitar que los animales pastoreen el rebrote antes del punto óptimo de reposo. Se calificó con 5 a los predios que siempre utilizaban tiempos de ocupación menor a tres días. De igual manera que con la característica anterior, se puntuó con 4 a aquellos predios que excepcionalmente utilizaban tiempos de ocupación superiores, y con 3 a aquellos que lo hacían alrededor del 50% de las veces.

4- Número de lotes: corresponde a la tercera ley de Voisin, que hace referencia a maximizar los rendimientos al asignar las mejores pasturas a los animales con

mayores requerimientos. Se calificó con 5 a los predios que tenían más de un lote de animales y siempre realizaba repaso, con 4 a aquellos que tenían más de un lote pero no siempre realizaban repaso, y con 1 a los predios que manejaban los animales en un lote único.

Características relacionadas al bienestar animal

5- Agua en potreros: se considera fundamental que en los sistemas PRV haya agua disponible en cantidad y calidad suficientes para todos los animales, y en condiciones adecuadas para su consumo, durante todo el tiempo y en todos los potreros del sistema. Se calificó con 5 a los predios que tenían agua en todos los potreros, con 4 a aquellos que tenían en más del 50%, 3 a los que tenían en 50%, 2 a los que tenían en menos de 50%, y con 1 a los que tenían agua únicamente en áreas comunes.

6- Sombra en potreros: al igual que el agua, todos los potreros deben disponer de sombra en cantidad suficiente para todos los animales. Se calificó de la misma manera que el agua.

Características relacionadas al cuidado ambiental

7- Diversidad de pasturas: se busca que la totalidad de la superficie del sistema tenga pasturas polifíticas. Se calificó con 5 a los predios que tenían campo natural y con 4 a los que tenían campo natural regenerado con algún cultivo o siembra sin laboreo.

8- Siembra en cobertura y/ o pasturas perennes: considera la diversidad de pasturas y el laboreo de la tierra. Se toma como ideal que toda la superficie esté cubierta por pasturas diversificadas, que se realice resiembra de pasturas anuales implantadas y que no se utilice ningún tipo de laboreo, como ser el uso de arado u otro equipamiento mecánico. Se calificó con 4 a predios que realizaban laboreo en una parte de su superficie inferior al 50%

9- No uso de fertilizantes químicos: se busca que los establecimientos no utilicen ningún tipo de fertilizante químicos, disminuyendo la puntuación con la frecuencia de las aplicaciones. Por el contrario, se admiten fertilizantes orgánicos. Se calificó con 5 a los predios que nunca utilizaban fertilizantes químicos.

10- No uso de agroquímicos: incluye la utilización de herbicidas, insecticidas y fungicidas. Esta es la única característica que Wendling y Ribas (2013) califican de forma dicotómica, otorgando el total del puntaje si en el establecimiento no se utiliza ningún tipo de estos productos. De igual manera, en este estudio se calificó con 5 a los predios que nunca utilizaban agroquímicos.

Finalmente, se realizó la sumatoria del puntaje de cada característica dividida por el puntaje máximo (5) y se multiplicó por 100 para obtener el IC-PRV expresado en porcentaje. Presentado como fórmula, el IC-PRV se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{IC-PRV} = \sum \text{característica} / 5 \cdot 100$$

7.2. Resultados

La media de IC-PRV de los cuatro predios fue de 81%. Los valores individuales fueron de 78% para el predio 1, 82% para el predio 2, 94% para el predio 3 y 68% para el predio 4. En la Figura 2 se presenta la puntuación de los cuatro predios

estudiados para cada uno de los 10 criterios evaluados. El predio 4 fue el que obtuvo menor puntaje y, a su vez, era el que tenía menos años desde que comenzó la instalación del sistema (2 años).

Al evaluar las características por grupos, se observa un muy elevado cumplimiento de las relacionadas al cuidado del ambiente, donde todos los predios obtuvieron el máximo puntaje para no uso de fertilizantes químicos ni agroquímicos, y puntajes superiores a 4 para diversidad de pasturas y siembra en cobertura y/o pasturas perennes. Por otra parte, las características relacionadas a las cuatro leyes de Voisin tuvieron resultados variados, con el mayor grado de cumplimiento para la característica número de potreros; cabe destacar que el predio 3 cumplió todas las características de esta categoría al 100%. Por último, las características relacionadas al bienestar animal fueron las que tuvieron menor grado de cumplimiento, siendo la sombra en potreros la única característica en que todos los predios tuvieron una puntuación inferior a 4.

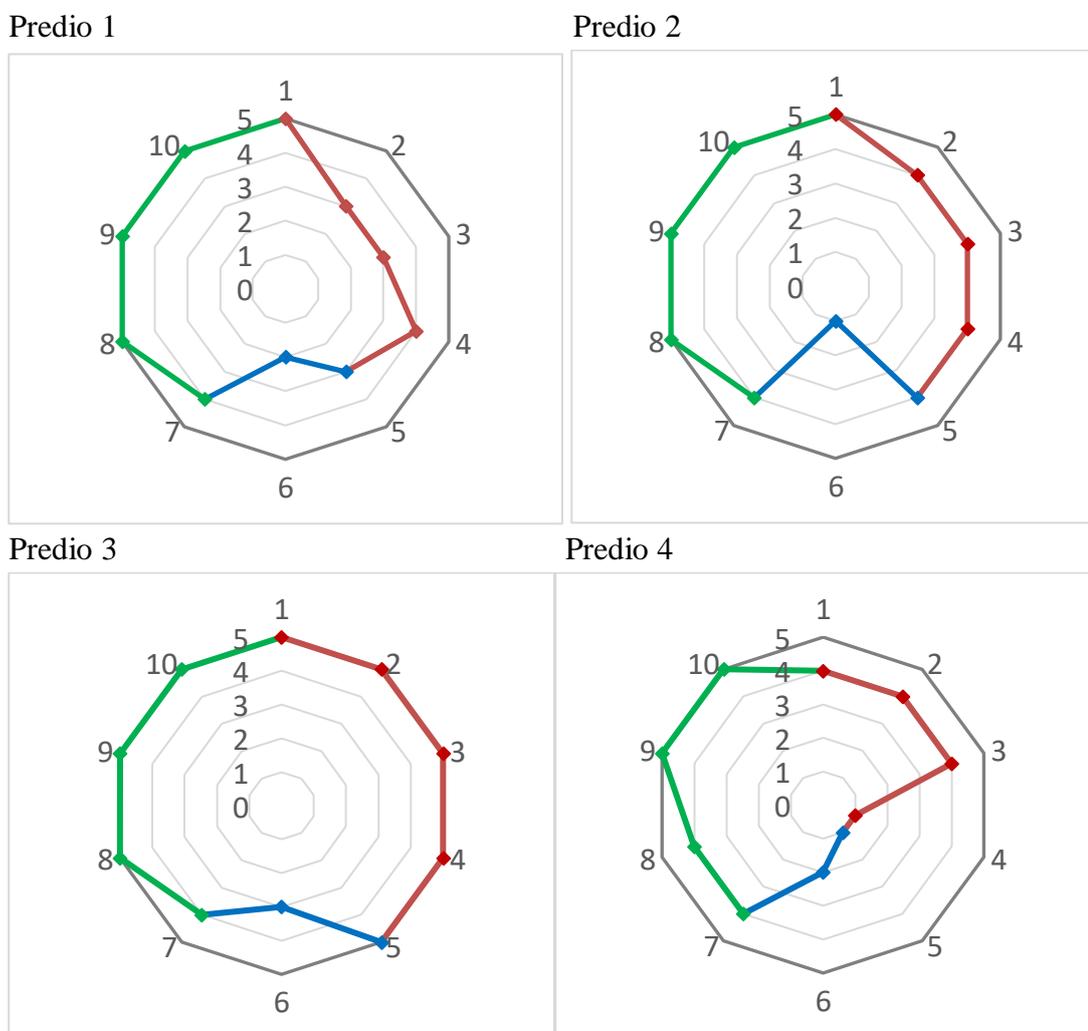


Figura 2. Puntuación obtenida por cuatro predios que utilizaban pastoreo racional Voisin en toda o parte de su superficie, evaluados para las diez características que conforman el Índice de conformidad del Pastoreo Racional Voisin según Wendling y Ribas (2013). Una puntuación de 5 indica que la característica se adopta por completo y 1 que nunca se adopta. En rojo, características relacionadas a las cuatro leyes de

Voisin: 1: número de potreros; 2: respeto tiempo de reposo; 3: respeta tiempo de ocupación; 4: número de lotes; en azul, características relacionadas al bienestar animal 5: agua en potreros; 6: sombra en potreros; en verde, características relacionadas al cuidado ambiental; 7: diversidad de pasturas; 8: siembra en cobertura y/o pasturas perennes; 9: no uso de fertilizantes químicos; 10: no uso de agroquímicos.

7.3. Discusión

Los resultados obtenidos demuestran un elevado grado de adopción de las características del PRV, superior a la media de los 6 predios estudiados por Souza y Ribas (2011) y a los 20 predios estudiados por Wendling y Ribas (2013), que fueron de 68 y 78%, respectivamente. También fue superior al IC-PRV promedio de 69% calculado por Favaro *et al.* (2021), obtenido tras encuestar a 93 productores uruguayos que utilizaban sistemas de pastoreo no tradicionales. El pertenecer a organizaciones o grupos de productores relacionados al PRV parecería ser un factor influyente en el grado de adopción de las leyes del PRV. En efecto, cuando Favaro *et al.* (2021) calculan el IC-PRV promedio considerando exclusivamente a los productores encuestados que pertenecían a alguna organización vinculada a la temática, el promedio ascendía a 85%, siendo este promedio superior al que se obtuvo en este estudio. Esto podría deberse a que integrar dichos grupos facilita el acceso a información del tema, y/o por el intercambio de saberes empíricos respecto a la adopción de las leyes; por ejemplo, un productor que encuentra una forma barata de hacer bebederos puede compartir este conocimiento con productores del grupo que aún no tienen agua en todos sus potreros, y estos pueden mejorar esa característica de manera más rápida gracias a dicha información.

El predio 4 fue el que obtuvo menor puntaje de IC-PRV (68%). Este predio tenía la particularidad de ser el único de producción ovina, y también era el que tenía menos años desde que comenzó la instalación del sistema PRV. Esto concuerda con que el PRV es un sistema que suele adoptarse paulatinamente, debido a la inversión y a los cambios de manejo que conlleva (Pinheiro Machado Filho *et al.*, 2021). Sin embargo, también debe tenerse en cuenta que, al ser un predio ovino, requería de una mayor inversión para la división de potreros en comparación con los predios vacunos, ya que necesita utilizar más líneas de alambrado para evitar que los ovinos puedan atravesarla (López-Pérez *et al.*, 2022). Es posible que este mayor gasto en materiales y mayor cantidad de horas de trabajo para las divisiones repercutiera en una menor disponibilidad de recursos para cumplir con otras características. Los estudios de PRV en sistemas ovinos son muy escasos, lo cual, sumado al hecho de que este trabajo contó con un solo predio de este rubro, dificulta la comparación e interpretación de los resultados.

Los predios estudiados obtuvieron el máximo para las características relacionadas al cuidado ambiental, así como para el número de potreros, por lo que podría considerarse que estos factores son priorizados por los productores. Al compararlo con el estudio de Souza y Ribas (2011), se observa que los predios estudiados por

dichos autores también tuvieron sus mejores puntuaciones en no uso de fertilizantes químicos y no uso de agroquímicos, así como en el tiempo de ocupación. En cuanto a los predios estudiados por Wendling y Ribas (2013), estos obtuvieron sus mejores puntajes para las características número de potreros, tiempo de ocupación y siembra en cobertura.

Por otra parte, la característica peor puntuada fue la de sombra en los potreros: con valores de 2, 1, 3 y 2, para los predios 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Esto concuerda con lo observado por Wendling y Ribas (2013), donde la mitad de los predios obtuvieron el puntaje mínimo y solo uno obtuvo el máximo, y con Souza y Ribas (2011), donde fue la segunda característica peor puntuada, con solo 2 de los 6 predios obteniendo una puntuación favorable. También concuerda con Favaro *et al.* (2021), donde solo el 2% de los encuestados indicó contar con sombra en todos sus potreros.

Es posible que las elevadas inversiones que requieren las instalaciones necesarias para obtener sombra artificial y/o el tiempo de crecimiento necesario para tener árboles de suficiente tamaño como para que aporten sombra natural sean las principales limitantes para el cumplimiento de esta característica. Parece poco probable que esta ley no se cumpla por restarle importancia, considerando la amplia bibliografía que reporta las ventajas de contar con sombra para el ganado (Blackshaw y Blackshaw, 1994; Schütz *et al.* 2008) y, en el caso de silvopastoreo con alta diversidad, también se presentan ventajas para el ambiente (Zin Battisti *et al.*, 2018; Deniz *et al.*, 2019).

Estos resultados parecen evidenciar una priorización por parte de los productores, que eligen invertir en la distribución de agua antes que en la sombra. Esta priorización responde a que el agua es un elemento más necesario para los animales que la sombra y que tiene mayor impacto en la producción. La disponibilidad de agua en sistemas PRV influye en el tiempo de pastoreo diurno de vacunos, siendo este menor cuando el acceso al agua está restringido, en tanto la disponibilidad de sombra repercute en el tiempo de reposo (Pinheiro Machado Filho *et al.*, 2022). Por otra parte, los vacunos beben más cuando tienen bebederos dentro del potrero que si estos se encuentran en corredores, y cuando están en corredores los animales subordinados beben menos que los dominantes. También se observan efectos de jerarquía en relación al tiempo que los animales pasan a la sombra, donde los animales dominantes pasan más tiempo echados a la sombra (Deniz *et al.*, 2021). La importancia de la sombra no puede desmerecerse, si bien esta dependerá de las temperaturas y niveles de humedad de la zona.

7.4. Conclusiones

Los predios estudiados obtuvieron una puntuación elevada de IC-PRV, siendo los factores mejor puntuados el número de piquetes y el no uso de agroquímicos ni fertilizantes químicos. Por otra parte, el factor en el que obtuvieron la puntuación más baja fue el de sombra en piquetes.

8. TRABAJO 2

Este capítulo presenta el análisis productivo y económico de los cuatro predios descritos. El objetivo de este trabajo fue caracterizar los resultados productivos y económicos de los cuatro predios que utilizan PRV en Uruguay.

8.1. Materiales y métodos

8.1.1. *Recolección de datos y estimación de costos*

En todos los predios se colectaron datos de dos ejercicios económicos. Para los predios vacunos, se analizaron los ejercicios del 1 de julio de 2018 al 30 de junio de 2019 (ejercicio 1) y del 1 de julio de 2019 al 30 de junio de 2020 (ejercicio 2). Para el predio ovino se consideraron los ejercicios del 1 de enero al 31 de diciembre, para los años 2018 (ejercicio 1) y 2019 (ejercicio 2). El criterio fue diferente en el predio ovino para adecuar el ejercicio económico al ciclo productivo y comercial del establecimiento. Se realizaron dos visitas a cada establecimiento, utilizando una pauta de entrevista semiestructurada. En la primera visita, se colectaron datos necesarios para la caracterización del sistema (inventario de activos, estructura del predio y de la familia), la reconstrucción del proceso productivo del primer ejercicio, la revisión del sistema de registros y el seguimiento del segundo ejercicio. En la segunda visita, se recolectó la información faltante del segundo ejercicio y se realizaron recorridas por el sistema PRV para relevar los materiales utilizados, tanto para las divisiones de parcelas como para la distribución de agua. Además, se realizó una reunión virtual con cada productor para profundizar la caracterización (objetivos de los productores) y completar datos. Por último, se realizó un encuentro colectivo para la presentación y discusión de los datos analizados. Se valorizó el stock animal al principio y al final de los ejercicios, utilizando precios promedio mensuales de los remates del país (para los valores corrientes), o bien usando el promedio anual del ejercicio 1 (para los valores constantes). Para estimar el costo de instalación del sistema PRV se utilizó como supuesto simplificador considerar que los sistemas se habían instalado en su totalidad justo antes del primer ejercicio analizado.

Para su valorización, se utilizaron los precios de los materiales comprados para reparación (en caso de tenerlos) o se utilizó el promedio de los precios de mercado, cotizados en al menos tres comercios de plaza. Se estimó la vida útil y el valor residual de cada material utilizado para calcular la depreciación anual mediante el método lineal por antigüedad. No se incluyeron los costos del alambrado perimetral, pozo de agua, ni la valorización de la mano de obra para la instalación del sistema PRV. La cantidad de horas dedicadas diariamente al manejo del sistema PRV se estimó a partir de la percepción de los productores. Esta información se utilizó para calcular el salario ficto familiar, multiplicando las horas de trabajo por el salario por hora de administrador rural: 5,15 y 5,56 dólares para los ejercicios 1 y 2, respectivamente (Consejo de Salarios, ajustes para 2018, 2019 y 2020).

8.1.2. *Indicadores productivos y económicos*

Se estimaron los siguientes indicadores productivos: ganancia diaria, kg de carne, lana y carne equivalente (CONEAT, 1979). La carne equivalente es un indicador de

productividad física, resume la producción de carne bovina, carne ovina y lana. Como indicadores económicos más relevantes se estimó el producto bruto (PB), costos totales, ingreso de capital propio (IKP), obtenido tras restar los costos totales al PB; ingreso familiar neto (IFN), obtenido sumando el salario ficto familiar al IKP (Álvarez y Falcao, 2011); y el margen bruto (MB) (Barnard y Nix, 1984) como PB para la ganadería en PRV (por lo tanto, PB y costos directos siguen este criterio). Para identificar la estructura de costos de cada establecimiento, se estimaron los costos totales por hectárea y por kilo de carne (predios vacunos) o carne equivalente (predio ovino), y se aplicaron las siguientes clasificaciones: (1) costos fijos y variables, (2) costos directos e indirectos, y (3) costos en efectivo y en no efectivo. Todos los indicadores se expresaron en monto absoluto y por hectárea de superficie de pastoreo ganadera (SPG). Para los indicadores económicos, se realizó una valorización a dólares corrientes (precios en pesos uruguayos convertidos a dólares, utilizando la cotización promedio del mes de la transacción) y otra a dólares constantes (utilizando la cotización del dólar promedio del ejercicio 2018-2019: 32,8 pesos uruguayos).

8.2. Resultados

8.2.1. Caracterización de los predios

Todos los predios estudiados eran propiedad de quienes los explotaban. La mano de obra contratada en relación a la mano de obra total (promedio de ambos ejercicios) fue 3% y 25% para los predios 1, 2, respectivamente y 0% para los predios 3 y 4. Los propietarios de los predios 2, 3 y 4 viven en sus establecimientos, mientras que el del predio 1 vive aproximadamente a 20 km. Se encontraron varios objetivos similares entre todos los productores: mantener el sistema con una productividad similar o mayor a la actual, dedicarle pocas horas de trabajo diarias, que el sistema se autofinancie y tener bajos costos. Además, todos los productores dieron gran importancia a la conservación o mejora del suelo y a mantener o aumentar la variedad de las especies vegetales.

8.2.2. Inversión estimada del Pastoreo Racional Voisin

Los predios vacunos (1, 2 y 3) tuvieron una inversión estimada en el PRV similar, que osciló entre 171 y 203 dólares/ha para la división de los potreros y entre 133 y 197 dólares/ha para la distribución del agua. Sin embargo, la inversión en el predio 4 fue considerablemente mayor (970 y 320 dólares/ha, respectivamente).

8.2.3. Resultados productivos

La producción por kg de carne equivalente/ ha SPG en el predio 1 fue de: 115 y 178, predio 2: 165 y 142, predio 3: 532 y 621, y predio 4: 173 y 244, para los ejercicios 1 y 2, respectivamente. Se observó un aumento de la producción en el segundo ejercicio para los predios 1, 3 y 4. La ganancia diaria promedio por animal por día aumentó en el ejercicio 2 para todos los predios vacunos (Cuadro II).

Cuadro II. Ganancia diaria promedio por animal por día en gr de tres predios (1, 2 y 3) con producción vacuna en pastoreo racional Voisin (1, 2 y 3) en dos ejercicios.

Predio	1	2	3
Ejercicio 1	254	365	375
Ejercicio 2	287	373	400

Valores expresados en gramos/animal/día

El ejercicio 1 corresponde al año comprendido entre el 1 de julio de 2018 y el 30 de junio de 2019, y el ejercicio 2 al año comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 30 de junio de 2020.

8.2.4. Resultados económicos

El PB corriente fue de 403 y 140 (predio 1), 320 y 213 (predio 2), 1161 y 1429 (predio 3), y 628 y 990 (predio 4) dólares/ha, para los ejercicios 1 y 2, respectivamente. Se observa que los predios 1 y 2 disminuyeron su PB de un ejercicio a otro, mientras que los 3 y 4 lo aumentaron. En cambio, al calcular el PB constante (figura 3), se observa que todos los predios aumentaron su PB del primer al segundo ejercicio.

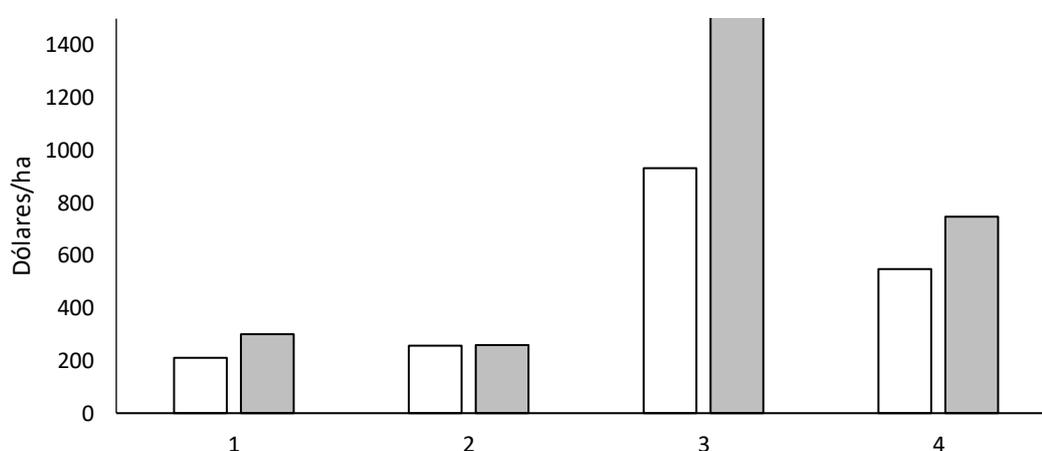


Figura 3. Producto bruto de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (ejercicio 1: blanco y ejercicio 2: gris), expresados en dólares constantes por hectárea de superficie pastoreada y usando precios promedios del ejercicio 1 para la valorización del stock animal.

Los indicadores IKP, IFN y MB se presentan en el cuadro III en valores corrientes (A) y constantes (B). El IFN fue positivo para todos los casos, tanto para valores corrientes como constantes, cosa que no ocurrió para el IKP.

Cuadro III. Indicadores globales (IKP e IFN) y parciales (MB) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios, expresados en dólares constantes por hectárea y valorización del stock corriente (A) o constante (B).

A

Predio	1		2		3		4	
Ejercicio	1	2	1	2	1	2	1	2
IKP	254	-56	22	-71	-417	113	-1024	-929
IFN	328	24	171	90	976	1266	212	405
MB	308	1	43	-48	-211	82	-935	-813

B

Predio	1		2		3		4	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Ejercicio	1	2	1	2	1	2	1	2
IKP	61	104	-42	-24	-645	-9	-1104	-1171
IFN	135	184	107	137	747	1370	131	163
MB	115	160	-21	-1	-439	185	-1015	-1056

IKP = Ingreso de capital propio. IFN = Ingreso familiar neto. MB = Margen Bruto.

8.2.5. Estructura de costos

Los costos por kg producido fueron similares entre los predios vacunos (entre 1,1 y 3,0 dólares/kg), mientras que fueron superiores en el predio ovino (7,9 y 9,5 dólares/kg) en ambos ejercicios. Por otro lado, los costos por ha SPG (figura 4) fueron menores en los predios 1 y 2, comparado con los predios 3 y 4.

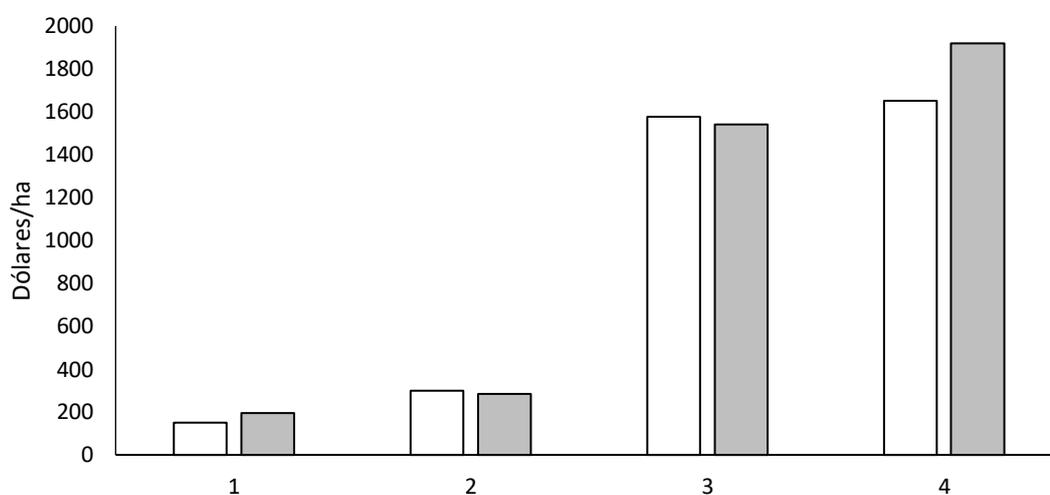


Figura 4. Costos totales por ha de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (ejercicio 1: blanco y ejercicio 2: gris).

Cuadro IV. Costos por rubro para cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos.

Ejercicio:	Predio 1		Predio 2		Predio 3		Predio 4	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Salarios	74	81	205	179	1392	1378	1235	1334
Alimentación	4	21	10	28	86	62	89	131
Sanidad y reproducción	3	7	6	2	5	1	45	39
Combustible	37	39	9	9	17	15	47	72
Servicios	5	14	12	14	17	21	104	115
Impuestos	14	9	19	14	20	27	43	43
Depreciación y mantenimiento	13	25	37	40	28	37	78	86
Otros	0	0	0	0	12	0	4	3

Valores expresados en dólares/ha de superficie pastoreada.

En el cuadro IV se presentan los costos por rubro expresados en dólares/ha SPG. El rubro salarios (incluye salario ficto familiar, pago a asalariados y aportes previsionales) representó el mayor costo para todos los predios en ambos ejercicios (entre 41 y 89% de los costos totales). El rubro alimentos (incluye costos tanto de suplementación, como compra de fardos y ración, como costos de implantación y mantenimiento de pasturas, como compra de semillas) osciló entre 3% y 11%, y el de sanidad entre 0,1% y 2,7. El costo de combustible osciló entre 1,0% y 3,7% para los predios 2, 3 y 4, mientras que para el predio 1 fue de 25% y 20% de los costos del ejercicio 1 y 2, respectivamente.

Los costos de servicios (incluye contratación de mano de obra y equipamiento externo, por ejemplo, esquila, fletes, inseminación, etc.) oscilaron entre 1,1% y 4,8% para los predios vacunos (1, 2 y 3), excepto para el ejercicio 2 del predio 1 (año en el cual se realizó sincronización de celos e inseminación artificial), que fue de 7,2%. El predio ovino (4) tuvo costos por servicios de 6% en ambos ejercicios. Los impuestos variaron entre 1,3% y 9,3% de los costos totales. La depreciación de las instalaciones del sistema PRV (incluyendo divisiones y distribución del agua) variaron entre 1,8% y 10%, mientras que los costos de mantenimiento fueron de entre 0,1% y 6,7%.

Para todos los predios, la mayor parte de los costos fueron en no efectivo (entre 51 y 80%), fijos (entre 78 y 96%) y directos a ganadería en PRV (entre 64 y 95%). El salario ficto (clasificado como costo no efectivo, fijo y directo) fue el costo individual de mayor peso relativo en todos los casos. Las horas de trabajo de los productores fueron estimadas entre 1,5 y 5 horas diarias.

El segundo costo de mayor peso relativo, tanto como costo en no efectivo como costo fijo, fue la depreciación. El costo variable de mayor peso correspondió al rubro alimentación. Los costos clasificados en efectivo y no efectivo, fijos y variables, y directos e indirectos expresados en porcentaje de los costos totales se presentan en las figuras 5, 6 y 7, respectivamente.

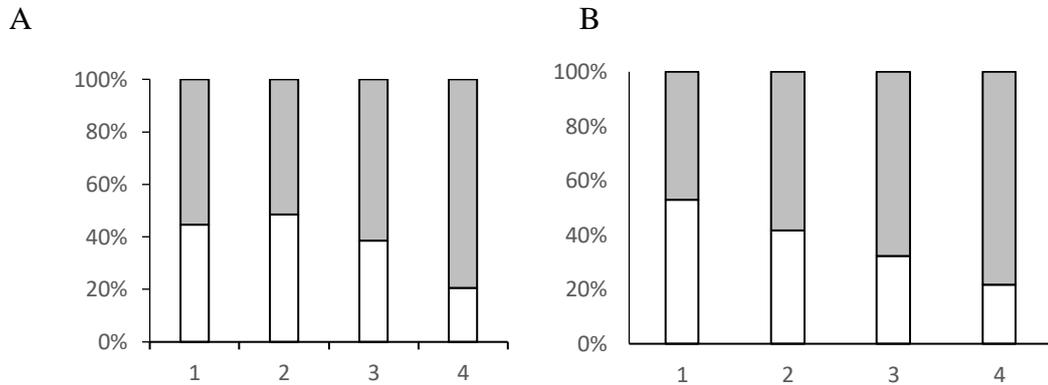


Figura 5: Costos en efectivo (blanco) y no efectivo (gris) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (A: ejercicio 1 y B ejercicio 2), expresados en porcentaje de costos totales.

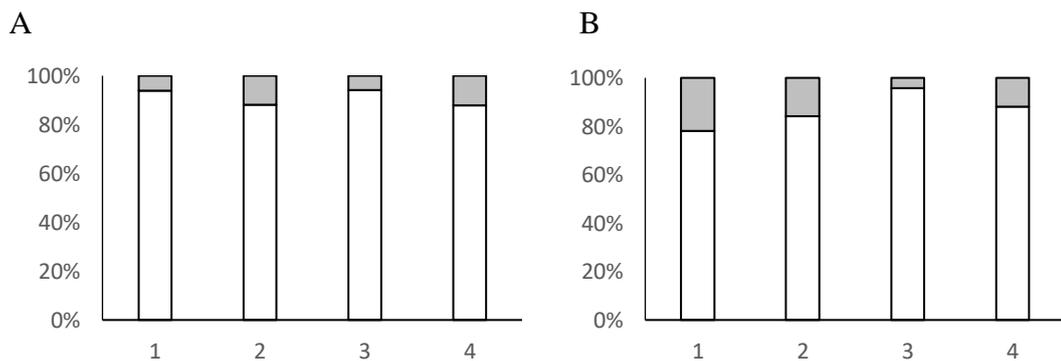


Figura 6: Costos fijos (blanco) y variables (gris) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (A: ejercicio 1 y B ejercicio 2), expresados en porcentaje de costos totales.

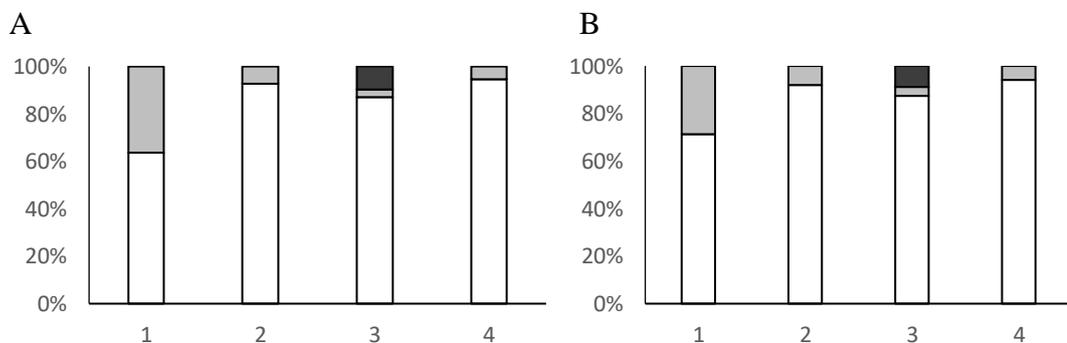


Figura 7: Costos directos a ganadería en PRV (blanco), indirectos (gris claro) y directos a nueces pecan (gris oscuro, solo para predio 3) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (A: ejercicio 1 y B: ejercicio 2), expresados en porcentaje de costos totales.

8.3. Discusión

Este es uno de los primeros estudios que sistematiza ingresos y costos en predios de ganadería vacuna y ovina que utilizan PRV en Uruguay. Debido a que la muestra utilizada fue muy heterogénea, las comparaciones presentadas en este trabajo se consideran descriptivas y no necesariamente representativas de la totalidad de predios ganaderos que utilizan PRV en Uruguay. Los objetivos expresados por los productores dejan en claro que la elección del sistema PRV no se trata meramente de una decisión económica, sino que en la decisión pesa el cuidado del ambiente, a través de la conservación del suelo y la conservación de la diversidad de especies vegetales, y de la disminución de la contaminación ambiental. Estos puntos están incluidos en la concepción del sistema PRV (Pinheiro Machado, 2011). La mayor inversión en divisiones observada en el predio ovino se explica por el mayor número de hilos en el alambrado que requiere la especie ovina, por lo que se requiere más alambre, postes y piques para separar los potreros. Se destaca que la inversión en los predios vacunos fue similar y, si bien se requeriría evaluar más predios, es una primera información de cuánto cuesta instalar el PRV en este tipo de establecimiento.

La producción promedio de kg de carne equivalente por ha de SPG de los establecimientos analizados en este trabajo fue superior al promedio de los predios monitoreados por el Instituto Plan Agropecuario (IPA, entidad nacional que genera información de la producción ganadera, principalmente de productores pequeños y medianos) en los períodos estudiados (Resumen del ejercicio 2018-2019 y 2019-2020). La producción por ha SPG máxima observada se obtuvo en el predio 3. Si bien este predio es el de menor superficie, también es el que tiene el mayor índice CONEAT (mayor productividad del suelo), por ende, la mejor calidad del suelo de este predio podría estar explicando, al menos en parte, los resultados observados. En el predio 4 se presentaron interferencias no asociadas al sistema productivo en sí mismo, que pudieron haber contribuido a la menor performance de este predio. Por otro lado, los predios 1 y 2 tuvieron costos por hectárea más bajos que los predios 3 y 4. Esto se puede explicar, al menos en parte, porque estos últimos tienen mayor dotación y rendimiento por ha, aunque no se puede descartar el posible impacto negativo de la menor escala de ambos predios comparados con los primeros al estimar esta variable. Se debe tener en cuenta, además, que el predio 4 tiene elevados costos de depreciación del sistema PRV, por ser un predio ovino con instalaciones fijas, lo que implica más materiales para las divisiones si se lo compara con los predios vacunos, o quizás con predios ovinos que utilicen instalaciones móviles, aunque no hay información disponible al respecto.

La estructura de costos fue similar entre predios, y se mantuvo relativamente estable de un ejercicio a otro. El rubro salarios representó el mayor costo para todos los establecimientos en ambos ejercicios. En cuanto al resto de los costos, estos fueron bajos, lo que concuerda con la bibliografía (Murphy *et al.*, 1986; Díaz Viladevall *et al.*, 2003; Bortoli *et al.*, 2005; Sorio, 2010). La mayoría de los costos en el presente

trabajo fueron fijos y directos, coincidiendo con lo reportado para los predios monitoreados por el IPA (Presentación Resultados de Carpetas Verdes. Ejercicio 2018-2019). Otros estudios en la región, estiman que los costos fijos suelen representar alrededor del 50% de los costos totales [predios familiares lecheros en México: 50 % (Jiménez Jiménez *et al.*, 2014); predio de bovino de doble propósito: 52% (Ruiz Guevara *et al.*, 2008)]. Este porcentaje es inferior cuando el rubro alimentación tiene mayor peso (predios de bovinos doble propósito en Venezuela: 42%; Bolívar *et al.*, 2016). La mayor incidencia de los costos fijos en los costos totales de los predios estudiados podría estar asociados al costo de la mano de obra familiar. En efecto, el rubro salarios fue el costo más elevado para los predios estudiados y, dentro de éste, el salario ficto familiar fue el de mayor peso. El salario ficto familiar, como su nombre indica, es un costo ficticio (forma parte de los ingresos percibidos por la familia). Existen diferentes criterios respecto a cómo cuantificar el costo de la mano de obra familiar: Jiménez Jiménez *et al.* (2014) consideraron el costo de oportunidad de la mano de obra familiar en predios lecheros de Michoacán (México) de acuerdo a las alternativas laborales a las que pudiera acceder la familia. En este trabajo, el costo de oportunidad representó en promedio el 37,4 % de los costos y fue el segundo costo que explicó la variación de la ganancia económica, siendo el primero la alimentación. También en Uruguay y utilizando un criterio similar al del presente trabajo, Colnago y Dogliotti (2020) utilizaron un costo de oportunidad de 4USD/h para todos los predios de su estudio, basado en el costo de contratar trabajadores temporales, y estimaron que 10 de los 14 predios analizados no llegaron a cubrir el costo de oportunidad. Por otra parte, Rossler *et al.* (2020) no incluyeron el rubro mano de obra familiar en los gastos de su estudio en Santa Fe (Argentina), pues lo consideraron parte del beneficio neto. Otras metodologías, como el Método de valor agregado, no asignan un monto específico a la mano de obra familiar y ponen en discusión la renta obtenida (el ingreso neto) en función del presupuesto familiar o de las aspiraciones de cada productor (García Filho, 2011). Valorizar la mano de obra familiar es un punto clave para los análisis económicos de los sistemas de producción familiar, y un desafío debido a la multiplicidad de criterios que se pueden utilizar y la posibilidad de la sobre o subestimación.

En cuanto a los indicadores económicos estudiados, mientras que para el IKP hubo múltiples valores negativos, el IFN resultó favorable en todos los casos, lo que refuerza la idea del gran peso del salario ficto familiar. Si bien los sistemas con IKP negativo pueden presentar complicaciones en el largo plazo, el IFN muestra que el sistema contribuye a la reproducción familiar. Las diferencias entre ambos indicadores demuestran la importancia de calcular el IFN cuando se analiza la estructura de costos de predios familiares. Otros factores que influyeron fuertemente en los indicadores económicos fueron la valorización del ganado (utilizado para calcular los valores de stock inicial y final) y la cotización del dólar, que se hace notoria al comparar los indicadores calculados en precios corrientes y constantes. Este tipo de establecimientos tiene la mayor parte de sus ingresos en dólares, mientras que los costos son principalmente en pesos uruguayos.

8.4.Conclusiones

El rendimiento y el PB fueron superiores al promedio de predios estudiados en el mismo período en el país. La escala de los predios, la mano de obra y la inversión en el PRV tuvieron un importante impacto en los resultados económicos. La mayoría de los costos fueron fijos, directos y en no efectivo, siendo el salario ficto familiar el costo de mayor peso en todos los predios. El criterio utilizado para valorizar la mano de obra tuvo un gran impacto en la evaluación económica. Se destaca la influencia de la valorización del stock y de la cotización del dólar al estimar indicadores económicos.

9. TRABAJO 3

En este capítulo se presenta el proceso de elaboración del ABM de un sistema PRV, dividiendo el proceso en tres etapas: realización de talleres con productores, implementación del modelo y simulaciones, si bien los talleres y la implementación del modelo se fueron dando de forma simultánea. Los objetivos de este trabajo fueron desarrollar un modelo bio-económico de simulación multiagente (ABM) de un sistema PRV a partir de la información recabada de los predios estudiados; y desafiar el modelo mediante escenarios diversos en cuanto a carga animal, precio de venta y CC, para evaluar la resiliencia del modelo. En los talleres, se trabajó con un grupo de productores que incluyó a los dueños de los predios estudiados en los trabajos I y II, pero que también integró personas que no habían participado en etapas previas. Para la implementación del modelo, se generó un predio representativo con un IC-PRV de 100% y se incorporaron variables económicas utilizando el promedio de costos de los predios 1, 2 y 3 del trabajo II.

9.1. Materiales y métodos

9.1.1. Talleres con productores

Se realizaron tres talleres con el grupo de productores de PRV del Centro Emmanuel, ubicado en Colonia Valdense, Colonia, Uruguay (Centro Emmanuel, 2022) entre 2019 y 2022. El grupo incluyó a los productores de los predios estudiados en los trabajos I y II, dos de los cuales participaron en todos los talleres, funcionando como “grupo núcleo” (Etienne *et al.*, 2008).

Taller I

Se realizó el 19 de noviembre de 2019 en forma presencial en uno de los predios (en Colonia) y participaron en total ocho productores. Tuvo por objetivo discutir los criterios que utilizaban para decidir el tiempo de reposo y el tiempo de ocupación de los potreros, así como discutir el crecimiento de la pastura y los diferentes factores que podían afectarla. En una primera etapa, se pidió a los productores que escribieran de manera individual cuáles eran los criterios que utilizaban para la entrada y salida de los animales a los potreros. Posteriormente, se presentaron todos los criterios y se los clasificaron según si eran de entrada o de salida. A modo de simplificación, se juntaron los criterios que eran similares. En la segunda etapa del taller, se discutió sobre el conocimiento que tenían los productores sobre el crecimiento de la pastura y se presentó la curva logística. Se discutieron las características de la curva y se preguntó qué factores consideraban que podían afectarla.

Taller II

Se realizó el 18 de mayo de 2021 (periodo de emergencia sanitaria por COVID-19) en modalidad virtual. Participaron 3 productores. Los objetivos fueron discutir y definir los elementos necesarios para realizar un ABM de un sistema PRV, así como definir las características de un “predio representativo”. Primero, se presentaron a los productores conceptos básicos del lenguaje universal de modelado (UML por su sigla en inglés) (Fowler, 2004), para luego plantearles preguntas correspondientes para elaborar diagramas de clase y de actividad. Las preguntas formuladas fueron las siguientes:

- ❖ ¿Qué no puede faltar para que un sistema productivo sea considerado un PRV?
- ❖ ¿Cuál es el manejo diario que debe tener un sistema productivo para ser considerado un PRV?

Se registraron todos los elementos y sus características nombrados por los productores. Posteriormente, se discutieron las características del predio representativo que sería modelado. Para esto, se priorizó que fuese un sistema fácil de entender y de modelar, pero que, a la vez, tuviese ciertos atributos similares a los predios de los productores participantes que permitiese que lo encontraran realista, en el sentido que, si bien no era un predio real, podría serlo.

Taller III

Se realizó el 8 de abril de 2022 en forma presencial en el Centro Emmanuel. Participaron 5 productores. El objetivo de este taller fue presentar los avances del ABM al grupo, discutir la validez del mismo y los elementos que se podrían agregar en futuras versiones.

La dinámica comenzó con un breve recordatorio del Taller II. Se presentó la lista de todos los elementos que se habían enumerado en esa instancia, y se fueron identificando uno a uno todos los elementos que ya estaban incorporados en el modelo. Luego, se discutió cuáles de los elementos que aún no se habían incorporado consideraban como prioritarios a incluir en futuras versiones, y cómo se podrían incluir. Finalmente, se entregó a los productores un cuestionario individual, para que escribieran su percepción respecto al modelo y su utilidad. El cuestionario se encuentra en el anexo IV.

9.1.2. Implementación del modelo

Se desarrolló un ABM utilizando la plataforma de modelado multiagente NetLogo versión 6.2 (NorthWestern 2022). NetLogo es un espacio programable de modelado utilizado para simular fenómenos tanto naturales como sociales. Fue desarrollada por Uri Wilensky en 1999 (Wilensky y Rand, 2007) y se ha mantenido en constante desarrollo desde entonces en el Northwestern's Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling. NetLogo es especialmente apropiado para modelar sistemas complejos que se desarrollan a través del tiempo y el espacio, permitiendo explorar el comportamiento de los agentes a nivel individual, así como de los patrones resultantes de sus interacciones.

El modelo simuló el predio representativo, cuyas características básicas (tamaño, número de potreros, número de animales) fueron definidas junto con el grupo de productores durante el taller II. El modelo simuló un sistema dinámico con lógica presa-predador (Pastor, 2008) basándose en el modelo PPGL de Diéguez y Fort (2017), adaptándolo a las ganancias de peso promedio de los predios descritos en el trabajo II.

Se trata de un sistema de ecuaciones que determinan el crecimiento del pasto, y el consumo y la ganancia de peso del ganado.

En la primera ecuación:

$$dx/dt = r \cdot x \cdot (1 - x / K \cdot cc / 100))$$

x representa la altura de la pastura (cm); r es una constante del crecimiento logístico de la pastura, adopta el valor de 0,002; K es la constante que determina la altura máxima de la pastura, variando de acuerdo a la estación; y cc es el coeficiente climático, que representa las variaciones entre años y repercute sobre K.

En la segunda ecuación:

$$dy/dt = b [c \cdot x^2 / (H^2 + x^2) - I_m] y^{3/4}$$

y representa el peso del ganado; b es la eficiencia de conversión de la pastura (kg de peso vivo metabólico·cm⁻¹); c y H son parámetros de ingesta de tipo Holling III; e I_m es el consumo de mantenimiento (cm/kg de peso vivo metabólico-1/ día-1). y^{3/4} es el peso vivo metabólico.

Se observa que ambas ecuaciones dependen de la cantidad de la altura de la pastura (x) en ese momento dado.

Sobre esta base biológica, se integraron variables económicas utilizando costos directos al PRV promedio de los predios estudiados en el trabajo II, y valorizando la ganancia de los animales a un precio fijo en dólares por kilo de peso vivo, para generar el MB del modelo. A su vez, los costos directos se clasificaron en fijos y variables, donde los fijos se calcularon por hectárea y, por lo tanto, siempre se mantuvieron iguales; y los variables se calcularon por cabeza de ganado, variando en las simulaciones en las que cambiaba la carga animal. Los costos fijos incluyeron mano de obra, depreciación y mantenimiento de las instalaciones, mientras que los costos variables incluyeron costos de sanidad y alimentación (estos últimos son mínimos ya que en el modelo no se considera un aporte externo de alimento).

Por último, se consideró un promedio de los costos indirectos de los predios estudiados en el trabajo II, para poder estimar un punto de equilibrio del sistema. Este valor se fijó en un MB de 50 dólares/ha, siendo este el valor al cual los costos totales igualan al PB del predio ejemplo.

9.1.3. Escenarios de simulación

Todas las simulaciones tuvieron un año de duración, empezaron al inicio de otoño (21 de marzo, día juliano 81) y su altura inicial promedio fue de 4 cm.

Primero, se hicieron simulaciones variando la carga animal entre 0,42 y 1,26 UG/ ha (entre 60 y 180 animales en total), manteniendo el CC en 100 (valor de un año promedio). El modelo calculó la ganancia/ ha y ganancia/ cabeza del período analizado. Además, calculó el MB/ ha para diferentes precios de venta por kg de peso vivo (PV): 1,3; 1,5; 2; 2,5; y 3 dólares.

Posteriormente, se realizaron simulaciones variando el CC durante primavera y verano (del 21 de setiembre al 20 de marzo), manteniendo una carga animal óptima o cercana a óptima, según lo observado en las simulaciones previas. El CC varió entre 10 y 150 durante primavera y verano, permaneciendo su valor en 100 para otoño e invierno. El precio se mantuvo a 2 dólares/ kg de PV. Se calcularon la ganancia/ ha y el MB/ ha.

Por último, se realizaron simulaciones variando la carga animal entre 0,42 y 1,12 UG/ha; y variando el CC entre 50 y 150. Se calculó el MB/ ha manteniendo el precio a 2 dólares/ kg de PV.

9.2. Resultados

9.2.1. Talleres con productores

Taller I

Criterios de entrada y salida

El criterio de entrada a los potreros más mencionado por los productores fue el de Estado o madurez de la pastura y el único de salida fue el del Remanente y la época del año; en tanto el criterio de Semillas y especies a priorizar fue el más mencionado dentro de los que se consideraron tanto de entrada como de salida (Tabla 1). Si bien la mayoría de los productores estaban familiarizados con el concepto de punto óptimo de la pastura, reconocían que este era difícil de determinar.

Uno de los criterios que se mencionó fue el de pastorear las gramíneas cuando tuvieran tres hojas, y las leguminosas cuando tuvieran flor. Sin embargo, todos acordaron que el criterio más utilizado, por su facilidad de observación, era el de la altura de la pastura. A modo general, los productores ingresaban los animales al potrero con mayor altura de pastura, o a aquel que tuviera una altura mínima aceptable.

También mencionaron el volumen del pasto, el cual se relaciona con la altura de la pastura. Otro criterio mencionado fue el de tiempo de reposo o tiempo de descanso. Refería a que los productores establecían un tiempo mínimo entre un pastoreo y el siguiente. Se relaciona directamente con una de las leyes del PRV y su objetivo es el pastoreo en el punto óptimo de la pastura. Otro criterio fue el de observar el estado del suelo para evitar el pisoteo. Hace referencia a intentar evitar pastorear potreros cuyo suelo esté excesivamente húmedo. Por último, se mencionó la practicidad para el manejo de los animales. Los productores daban importancia a que el potrero al que ingresarían los animales estuviese cerca del potrero en el que estaban, lo que les facilitaba su traslado.

El principal criterio de salida de los animales fue el del remanente. Aquí se presentaron diferencias: mientras que algunos productores retiraban los animales dejando una altura de pasto mínima que hubieran establecido previamente, otros preferían que el ganado comiera “al ras” del suelo. Además, se planteó que este criterio dependía mucho de la época del año, por ejemplo, en verano dejaban más remanente que en otoño o primavera. Otro criterio que se mencionó como de salida, pero finalmente se consideró que también influía la entrada, fue el de priorizar las categorías de mayor exigencia. Es de entrada, pues se ingresa a los animales con mayores requerimientos o los que estén cercanos a venderse (ejemplo novillos y vaquillonas) a las mejores pasturas, y las categorías con menos requerimientos a las pasturas más lignificadas. Puede considerarse como un criterio de salida al considerarse el repaso, por ejemplo, haciendo que un lote de vaquillonas pastoree un potrero, dejando un remanente, para que luego lo pastoree un lote de vacas. En este sentido, se relaciona con el criterio de remanente.

Un criterio que se mencionó repetidas veces pero que resultó ambiguo a la hora de clasificarlo como de entrada o salida fue el de priorizar semillas y especies valiosas. También se puede relacionar con el remanente, así como con el tiempo de reposo. Criterios que se mencionaron una sola vez incluyeron: priorizar potreros con sombra y abrigo, y tener en cuenta los potreros que se quiere reservar o sembrar. En estos casos, los primeros (potreros con abrigo y sombra) se priorizarían por sobre otros para que los animales tengan estas comodidades, mientras que los segundos (potreros para reserva o siembra) se excluirían de los potreros pastoreables.

Cuadro V. Criterios de entrada y salida de animales a potreros mencionados por productores integrantes de un grupo sobre pastoreo racional Voisin, durante el taller I.

Criterios	Entrada o salida	Veces mencionado
Altura de la pastura	Entrada	3
Estado o madurez de la pastura	Entrada	4
Tiempo de reposo/ Descanso	Entrada	3
Volumen de pasto	Entrada	2
Estado del suelo para evitar el pisoteo	Entrada	3
Practicidad / cercanía	Entrada	2
Remanente y época del año	Salida	6
Exigencias por categoría	Ambos	2
Semillas y especies a priorizar	Ambos	4
Potreros con abrigo y sombra	Ambos	1
Potreros para reserva o siembra	Ambos	1

Crecimiento de la pastura

Se discutió la forma de crecimiento de la pastura mediante una curva logística. Si bien no todos los productores estaban familiarizados con este concepto, todos poseían nociones de esta forma de crecimiento, ya que se relaciona con el punto óptimo de pastoreo descrito por Voisin.

Las características de la curva discutidas fueron:

- ❖ K – altura máxima de la pastura (asíntota de la curva de crecimiento)
- ❖ K/2 – punto de inflexión de la curva
- ❖ Punto óptimo de reposo

Posteriormente, se acordó que los factores principales que influyen el crecimiento de la pastura y, por lo tanto, la pendiente de la curva eran la época del año, la temperatura, la precipitación pluvial, las especies que componen la pastura, el tipo de suelo, los nutrientes y topografía del mismo.

A partir de este taller, se definió que el modelo movería a los animales diariamente (en cada step) al potrero con mayor altura de pasto, y que la pastura crecería de forma logística, mediante una ecuación dependiente de K. El crecimiento de la pastura se podría afectar alterando ese K, mediante un factor denominado coeficiente climático (CC).



Figura 8. Materiales elaborados en el taller I, con productores integrantes de un grupo sobre pastoreo racional Voisin (PRV). A la izquierda, criterios de entrada y salida de animales a potreros, utilizando el sistema PRV. A la derecha, representación de una curva logística de crecimiento de la pastura y factores que la influyen.

Taller II

Preguntas formuladas

A continuación, se presentan todas las respuestas de los productores a las dos preguntas planteadas.

En un sistema de producción ¿qué no puede faltar para que sea un PRV?

- ❖ Animales (especie, categoría, lote, número, estatus sanitario)
- ❖ Personal (toma de decisiones)
- ❖ Suelo (tipo, CONEAT, ubicación, topografía)
- ❖ Distribución de agua (cañerías, bebederos, fuente, volumen)
- ❖ Pastura (campo natural o implantada, especies)
- ❖ Factores climáticos (ej. temperatura, humedad, lluvia, sequía)
- ❖ Parcelas (fraccionamiento, fijas o móviles, tamaño, ubicación, orientación, con o sin sombra, con o sin agua)
- ❖ Reservas (en pie, fardo, silo, ración)
- ❖ Caminería
- ❖ Áreas sociales (siempre tienen agua y sombra)

¿Cuál es el manejo diario que debe tener un sistema para que sea un PRV?

- ❖ Manejar los animales en uno o más lotes.
- ❖ Tener un criterio de entrada para seleccionar el potrero al que van a ingresar los animales. Este criterio tiene que considerar las características de la pastura (altura, calidad, días de descanso).
- ❖ Tener un criterio de salida que determine el tiempo de ocupación de los animales en un potrero. Este tiempo debe ser reducido, a modo general se usa un tiempo de ocupación de un día.

Características del “predio representativo”

Se definió que el “predio representativo” que sería modelado tendría una superficie de 100 hectáreas, dividida en 100 potreros de 1 ha cada uno y tendría campo natural en toda su superficie. Contaría con tres lotes de animales en crecimiento (sistema de recría) y cada lote contaría con un peso inicial promedio diferente.

Taller III

Aspectos a incorporar

Se discutieron diversos aspectos que podrían incluirse a futuro, en próximas versiones del modelo. La mayoría de los agregados discutidos buscaban poder adaptar el modelo a un predio real específico. Esto se podría implementar utilizando la extensión GIS, que tiene la plataforma NetLogo, para adaptar la espacialidad del modelo a predios reales, y diferenciar el crecimiento de la pastura en los distintos potreros para simular diferentes especies, densidad de pastura, estado fenológico de la pastura, tipos de suelos y topografía. También se discutió el poder modelar predios con diferentes IC-PRV, por ejemplo, que no tuviesen agua o sombra en todos los potreros. Por otra parte, se discutió agregar al modelo elementos que representaran decisiones que podrían tomarse en momentos puntuales, como suplementar a los animales cuando la pastura alcanzara un mínimo establecido, o cerrar un potrero durante un período de tiempo para tenerlo de reserva. También se planteó la posibilidad de complejizar el modelo agregando entradas y salidas de animales. Por ejemplo, sacar del sistema a animales que alcanzaran determinado peso, simulando así la venta de los mismos.

Por último, se planteó la utilidad de hacer simulaciones largas, de varios años de duración, que reflejaran la mejora del sistema mediante un aumento de la producción, calidad y diversidad de las pasturas.

Cuestionario

Los cuestionarios con las respuestas textuales de los productores se presentan en el Anexo IV.

Los productores consideraron que el modelo reflejaba mínimamente un sistema PRV y que los resultados se aproximaban a la realidad, si bien había aspectos que se podían mejorar. Consideraron que la forma de visualizar el modelo (interfaz de Netlogo) era correcta, facilitaba la comprensión del modelo y permitía hacer una evaluación rápida de muchos datos a la vez. Recomendaron continuar trabajando con el modelado por razones diversas, desde considerarlo útil para el monitoreo de sistemas y la toma de decisiones, hasta verlo como una manera de acercar nuevas generaciones al campo. Al preguntarles si utilizarían una herramienta así si la tuvieran en el celular, las respuestas fueron diversas: algunos contestaron que sí, otros que posiblemente, y otros que no. Como aspectos positivos destacaron: poder simular diferentes escenarios, como variar la carga; analizar datos rápidamente; ayuda en la toma de decisiones. Como aspectos negativos destacaron: muy técnico; demasiado simplificado; sería necesario adaptarlo al predio de cada uno; necesidad de generar el hábito para usarlo. Para versiones futuras del modelo, mencionaron como importantes el agregar más

datos de la realidad y dar la posibilidad de realizar manejos puntuales en determinadas situaciones.



Figura 9. Fotografías de los talleres con productores integrantes de un grupo sobre pastoreo racional Voisin. Taller I a la izquierda y taller III a la derecha.

9.2.2. Implementación del modelo

A continuación, se describe el modelo elaborado utilizando el formato ODD resumido (Grimm *et al.*, 2020).

El objetivo del modelo es generar una representación de un sistema tipo PRV que permita crear escenarios y simular situaciones diversas, para tener una mejor comprensión del sistema.

El modelo busca responder las siguientes preguntas: ¿cuál es la carga óptima de este sistema? ¿cuál es el MB obtenido en diferentes situaciones? ¿cómo influye el CC en el sistema, y cómo interacciona con la carga animal?

El modelo incluye vacunos en crecimiento como sus entidades móviles. Los vacunos se dividen en tres lotes de igual número de animales y diferente peso inicial. Cada animal pertenece a un lote, tiene una identificación individual, un peso, y un consumo y ganancia diarias que dependen de su peso y de la disponibilidad de forraje.

El espacio se divide en 100 potreros, todos ellos cuadrados y de 1 ha de superficie. Cada potrero tiene su propia ubicación, altura de la pastura y oferta de forraje. La altura inicial promedio de los potreros es determinada por el/ la usuario/a en la interfase. La altura inicial de cada potrero es un número aleatorio con rango +/-1 cm del valor promedio. La altura de la pastura aumenta según la ecuación de crecimiento, dependiente de K, y decrece en función del consumo del ganado (si el potrero está ocupado). Los agentes y sus características se describen en la figura 10.

Las dinámicas del modelo representan un día como un paso de tiempo (*step*). Las simulaciones tienen una extensión máxima de un año. Los procesos más importantes del modelo, que se repiten en cada *step*, son:

- ❖ Se genera una lista con los tres potreros de mayor altura y se mueve cada lote de animales a uno de ellos.
- ❖ Cada animal consume pastura y varía su peso en función de la disponibilidad de pastura y de su peso, de acuerdo a la función denso-dependiente del modelo presa-predador de Dieguez y Fort (2017).

- ❖ La pastura de todos los potreros aumenta su altura con una función logística, considerando un valor de K, el cual depende de la fecha y del CC. Este coeficiente multiplica el valor de K para simular escenarios de mayor o menor oferta de forraje, con respecto a un K promedio.
- ❖ Se actualiza la fecha (avanza un día).

Al finalizar la simulación, se calculan los ingresos (multiplicando los kilos ganados por el precio de venta establecido) y los costos directos para obtener el MB del sistema. Los costos directos se dividieron en fijos y variables, y fueron de 100 dólares/ha (costos fijos) y 23 dólares/cabeza (costos variables), estos valores se fijaron considerando los resultados de los predios del trabajo II.

Los procesos de una simulación se presentan en la figura 11.

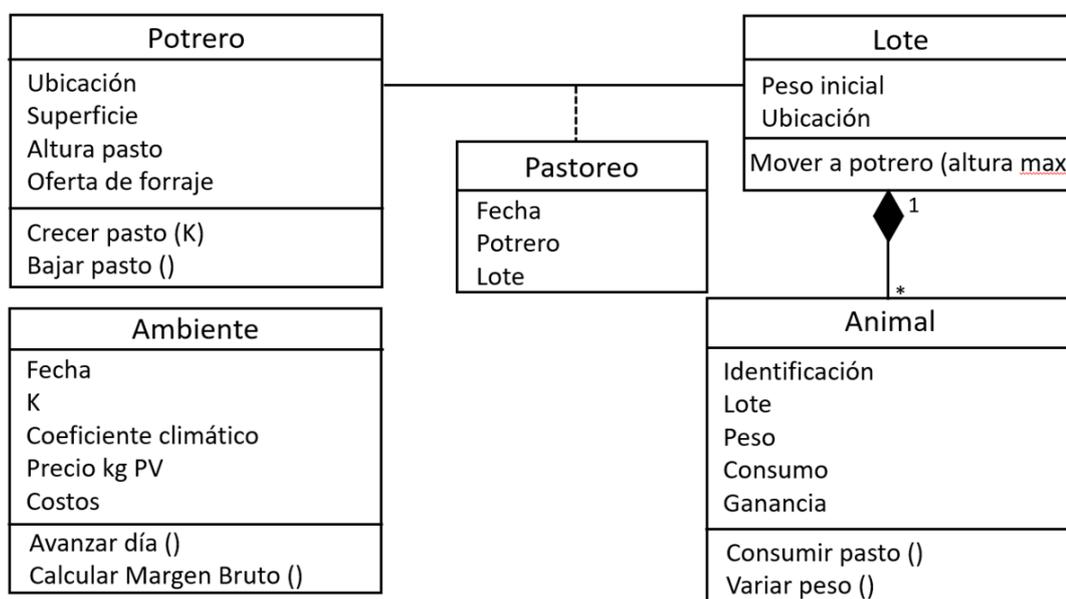


Figura 10. Diagrama de clase de las entidades, así como sus relaciones, atributos y acciones representadas en un modelo multiagente de un sistema de pastoreo racional Voisin.

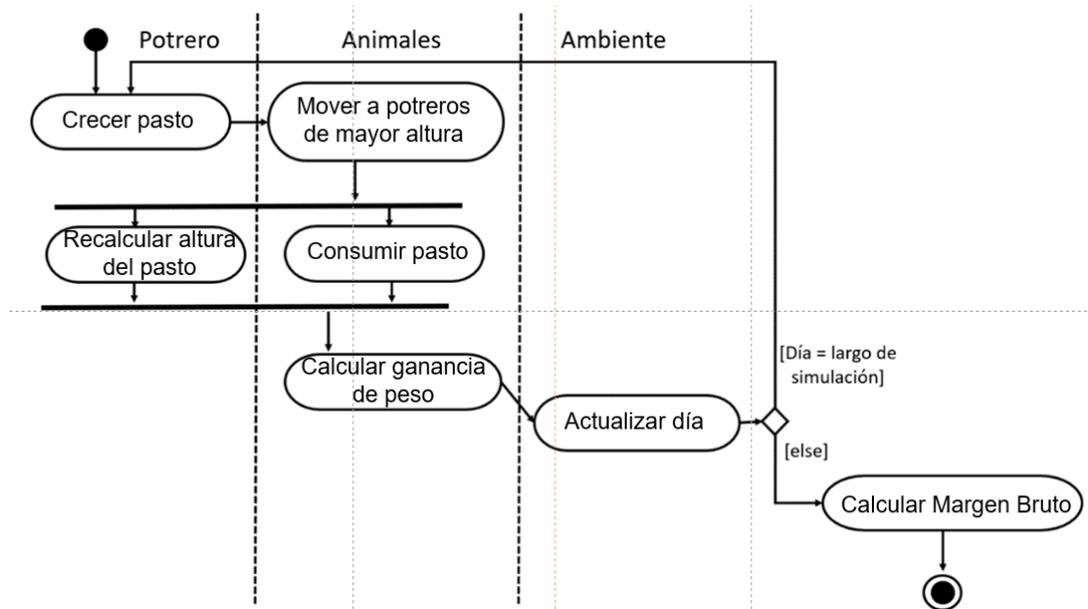


Figura 11 – Diagrama de actividad representando los principales procesos de un modelo multiagente de un sistema de pastoreo racional Voisin.

Por defecto, el modelo no tiene comportamiento estocástico. El modelo se inicializa con una determinada cantidad de animales por lote, pesos iniciales diferentes para cada lote, una altura inicial promedio de pastura, una estación inicial, un precio de venta por kilo de peso vivo, y un CC. Todos estos parámetros de inicialización pueden ser definidos por el/la usuario/a, y son los que se varían para generar escenarios (ver sección simulaciones).

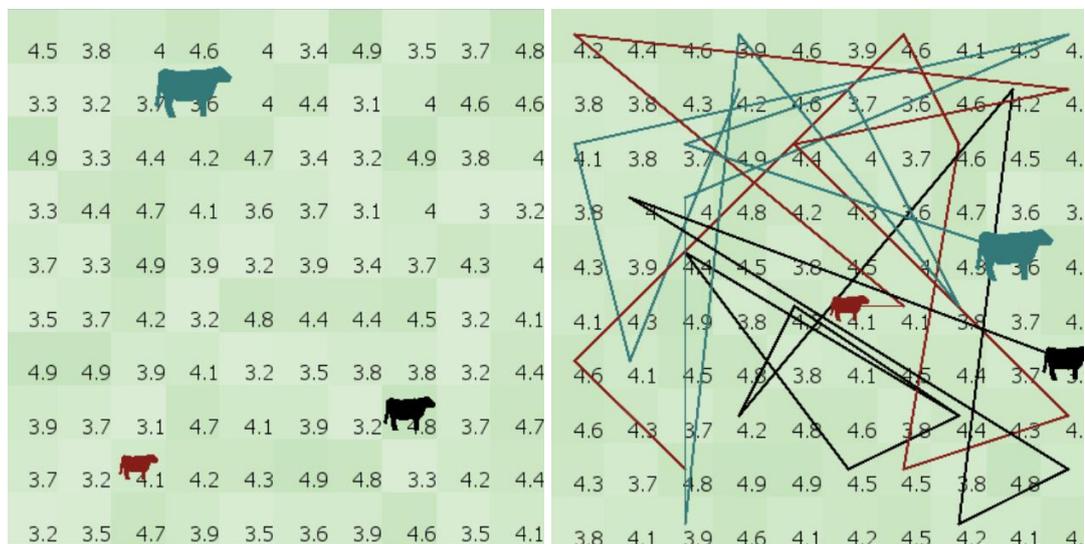


Figura 12. Visualización de un modelo multiagente de un sistema de pastoreo racional Voisin en la inicialización (izquierda) y luego de transcurridos 10 días (derecha). Los números indican la altura (cm) de pastura de cada potrero. Los trazos muestran los trayectos realizados por los lotes de animales.

9.2.3. Escenarios de simulación

Todas las simulaciones tuvieron un año de duración, empezaron al inicio de otoño (21 de marzo, día juliano 81) y su altura inicial promedio fue de 4 cm, variando los valores

de cada potrero entre 3 y 5 cm. Se utilizó una semilla aleatoria fija para que la altura inicial de cada potrero sea igual para todas las simulaciones. Se utilizaron 3 lotes de animales de 200, 250 y 350 kg, respectivamente. Los tres lotes siempre tuvieron la misma cantidad de animales, la cual varió de acuerdo a la carga animal (UG/ha) que se utilizaba.

Simulaciones con carga variable

La carga animal varió entre 0,42 y 1,26 UG/ ha (entre 60 y 180 animales en total), manteniendo el CC en 100. En la figura 13 se presenta la ganancia por ha y por cabeza en función de la carga animal. La ganancia por ha describe un comportamiento cuadrático ($R=0,995$), mientras que la ganancia individual mostró una relación lineal e inversa ($R=0,955$) a la carga animal. La máxima ganancia por ha se obtuvo entre 0,72 y 0,78 UG/ ha (entre 102 y 112 animales), con ganancias diarias promedio por ha de 348gr, y entre 312 y 342 gr/d/animal. A partir de 1,18 UG/ ha se observaron pérdidas de peso.

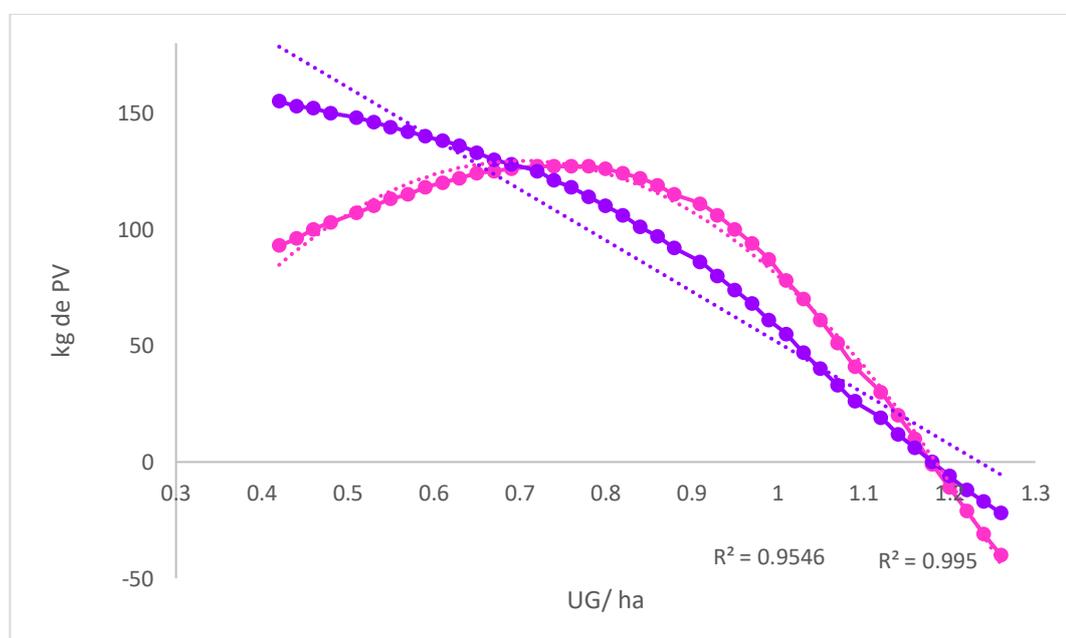


Figura 13. Ganancia por ha (rosado) y por cabeza (violeta) en función de la carga animal para un modelo multiagente de un sistema con pastoreo racional Voisin para simulaciones de un año.

De igual manera, al calcular el MB para diferentes precios de venta, los mayores valores de MB se observaron con cargas de entre 0,72 y 0,78 UG/ ha, siendo su máximo valor 296 dólares/ha, con un precio de venta de 3 dólares/kg de PV. El MB se tornó negativo a partir de 0,95 UG/ ha para el precio más bajo (1,3 dólares), soportando una mayor carga cuanto más alto era el precio. En la figura 14 se presentan los valores de MB en función de la carga animal.

Al considerarse una aproximación de posibles costos indirectos (utilizando un promedio por ha de los costos indirectos al PRV de los predios estudiados en el trabajo II) se estimó que el “predio representativo” modelado estaría en su punto de equilibrio cuando su MB/ ha es de 50 dólares, obteniendo ganancia a valores mayores. Con esta

consideración, se observa que el “predio representativo” no alcanza su punto de equilibrio en ninguna situación cuando el precio es de 1,3 USD/ kg; cuando el precio es de 1,5 obtiene ganancias si la carga está entre 0,55 y 0,86 UG/ ha; y a partir del precio de 2, siempre obtiene ganancias con la carga mínima (0,42).

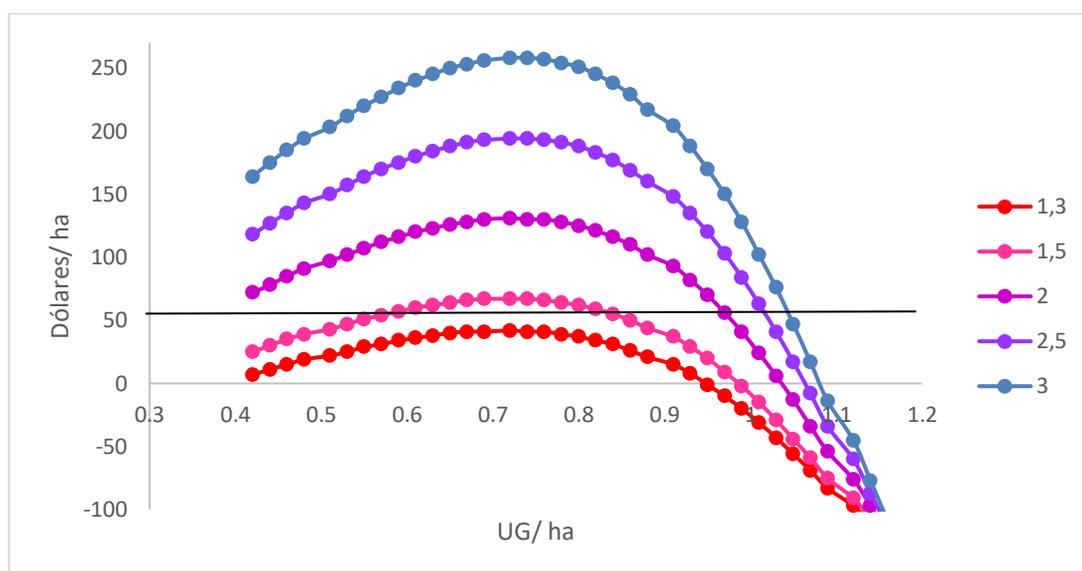


Figura 14. Margen Bruto por ha en función de la carga animal para un modelo multiagente de un sistema con pastoreo racional Voisin para simulaciones de un año, utilizando diferentes precios de venta, expresados en dólares por kg de peso vivo.

Simulaciones con carga fija y coeficiente climático variables

El CC varió entre 10 y 150 durante primavera y verano, permaneciendo su valor en 100 para otoño e invierno. La carga se mantuvo en 0,67 UG/ha y el precio de venta en 2 dólares/ kg de PV. La ganancia total fue máxima con el CC máximo (150), siendo de 367 gr/ animal/ día. Con CCs menores a 25, los animales perdieron peso. En la figura 15 se presentan los valores de ganancia promedio por ha en función del CC. El MB fue positivo a partir del CC 35, y superior a 50 (por encima del punto de equilibrio) a partir del CC 45.

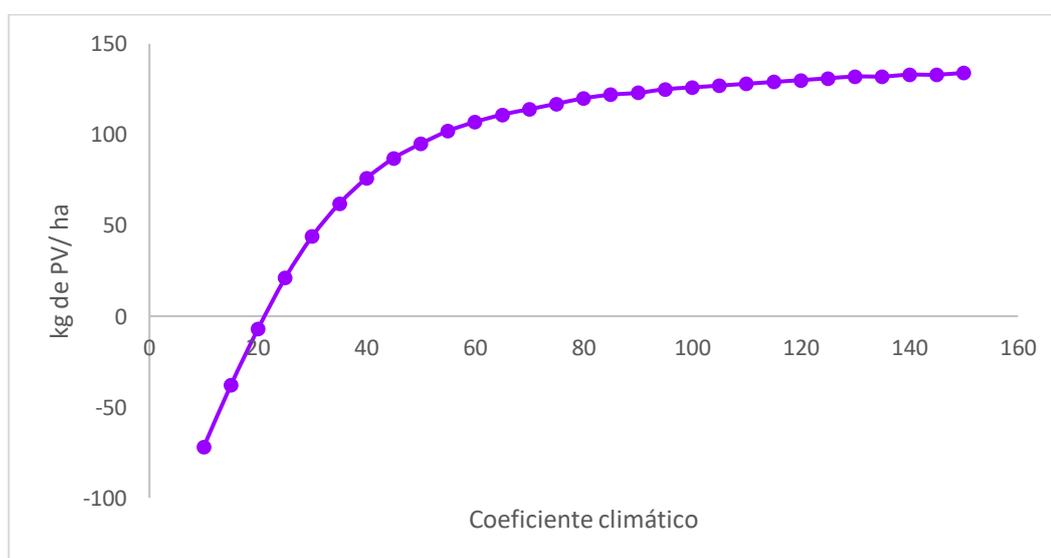


Figura 15. Ganancia promedio por ha en función del coeficiente climático, manteniendo una carga animal inicial de 0,72 UG/ha, para un modelo multiagente de un sistema con pastoreo racional Voisin para simulaciones de un año y altura inicial promedio de la pastura de 4cm.

Simulaciones con carga animal y coeficiente climático variable

La carga animal varió entre 0,42 y 1,12 UG/ha; y el CC entre 50 y 150. Los resultados se presentan en la figura 16. Con UG/ superiores a 1,03, el MB siempre fue inferior a 50 dólares/ ha, sin importar el CC, y a partir de las 1,09 UG/ha, todos los valores de MB fueron negativos. Por otra parte, se observaron valores de MB inferiores a 50 cuando el CC era 50 y las UG inferiores a 0,46, pero sin llegar a valores negativos. El mayor valor de MB (148 dólares/ ha) se observó con el máximo CC (150) entre las 0,74 y 0,78 UG/ ha. Además, cuando la carga se mantuvo entre 0,46 y 0,76 UG/ ha, el valor de MB siempre fue superior a 50 dólares/ ha, incluso con el CC más bajo (50).

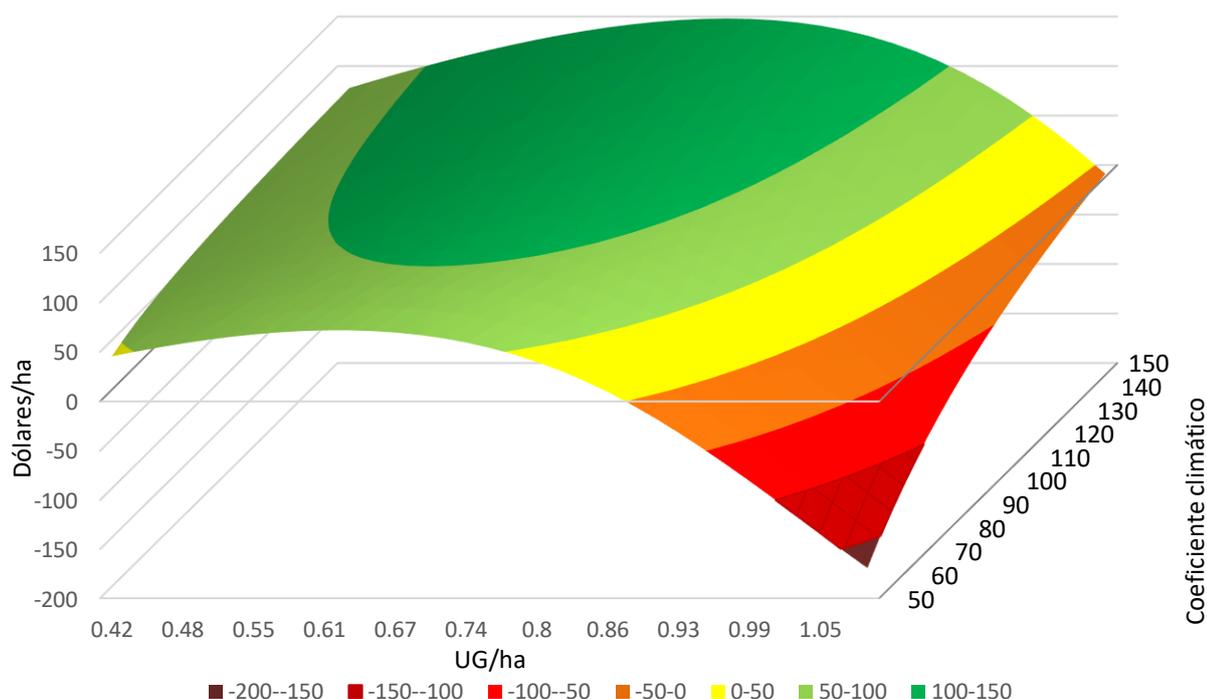


Figura 16. Margen Bruto (dólares/ha) en función de la carga animal (UG/ha) y el coeficiente climático para un modelo multiagente de un sistema con pastoreo racional Voisin para simulaciones de un año, manteniendo un precio de venta de 2 dólares/ kg de peso vivo.

9.3. Discusión

El modelo elaborado es una primera aproximación a la modelización multiagente de un sistema PRV, sin antecedentes previos en nuestro país. Incorpora variables productivas y económicas, basándose en el modelo presa-predador de Diéguez y Fort (2017) y tomando como insumo datos económicos del trabajo II, y de manejo de productores que integraban el grupo con el cual se trabajó.

Los resultados del trabajo utilizando la modalidad de modelado participativo se consideran ampliamente positivos: los resultados de los talleres permitieron definir los elementos esenciales que debían contemplarse en un modelo PRV, buscando la mejor forma de simplificar un sistema tan complejo. La participación de los productores también sirvió para conocer su interés por este tipo de proceso. El grupo se mostró muy participativo en los talleres; demostraron conocimientos previos acerca de la curva logística de crecimiento de la pastura, lo cual se destaca como un hallazgo positivo. También mostraron interés por el proceso de modelado y el ABM resultante.

Además, los talleres sirvieron para discutir la importancia de incorporar nuevos elementos a posibles versiones futuras del modelo, siendo la más nombrada la de adaptar el modelo teórico a predios específicos. Otra interrogante planteada fue cuál sería el efecto de utilizar diferentes IC-PRV (Wendling y Ribas, 2013) y cómo la adopción o no de ciertas características del PRV podría influir en la producción; por ejemplo, comparar dos modelos, donde ambos tienen una correcta división y potreros con agua, pero solo uno provee sombra. Otra posible incorporación discutida fue la del efecto del PRV a largo plazo, considerando la presente discusión de que los efectos benéficos de incorporar un PRV son acumulativos y de mayor impacto en el largo plazo; por ejemplo, se podrían realizar simulaciones de larga duración, integrando un coeficiente que modifique el crecimiento de la pastura (similar al CC) a medida que transcurren los años de la utilización del PRV. Sin embargo, la información al respecto es muy variable, habiendo trabajos que reportan efectos benéficos del PRV a nivel tanto ambiental (Ojeda-Falcon *et al.* 2014; Seo *et al.* 2017) como productivo (Lenzi *et al.*, 2009; Reyes Silva *et al.* 2022), pero también aquellos que reportan una menor producción (Díaz Viladevall *et al.*, 2003; Briske *et al.*, 2008). A la hora de considerar estas nuevas incorporaciones al modelo, se hace notoria la necesidad de continuar investigando en esta área.

En cuanto a las simulaciones obtenidas, la ganancia de peso por ha tuvo un comportamiento cuadrático, lo que describe el modelo de Mott (1960). Algo a destacar es que, en el modelo desarrollado, esta ganancia es una propiedad emergente, es decir, que resulta de la interacción entre los agentes (ganado) y la pastura. Aun así, los resultados de la ganancia fueron similares a los utilizados como *input* por Daza y Martín (2007) para su modelo de predios ganaderos de la Dehesa española. Un antecedente más simple y anterior en cuanto al uso de ecuaciones para simular sistemas a pastoreo es el modelo de Noy-Meir (1975) que también se utilizó para comparar pastoreo rotativo y continuo (Noy-Meir, 1976) así como para evaluar diferentes conceptos de capacidad de carga (Ungar, 2019). Esto demuestra la versatilidad de este tipo de modelos y su capacidad para ser tan sencillos o complejos como amerite el trabajo en cuestión.

En las simulaciones con carga animal fija y variando el CC, se observó que el incremento en la ganancia de peso y el MB cuando el CC aumentaba por encima de 100 era escaso. Esto puede deberse a que, siendo la carga animal utilizada en esta simulación óptima o cercana a óptima, los animales ya están muy cerca de su máximo potencial con el CC de 100. En cambio, al observar las simulaciones con CC por debajo de 100, y sobre todo en menos de 50, las ganancias decrecen de manera marcada, hasta que los animales dejan de cubrir sus requerimientos y empiezan a perder peso, a partir de $CC=35$. Este comportamiento de la ganancia frente a variaciones de CC concuerda por lo reportado por Dieguez y Fort (2019) en un sistema dinámico (no ABM), en el que observaron un acelerado decrecimiento del MB a partir de CC 50.

Al variar la carga animal y el CC, se observa que, a mayor CC, la máxima ganancia se presenta con cargas crecientes de animales, si bien al superarse un máximo, mayores cargas se traducen a menores ganancias totales. Esto es esperable, ya que el mayor CC lleva a una mayor oferta de forraje y, por lo tanto, el sistema puede soportar una mayor carga animal expresando su máximo potencial de ganancia de peso. Sin embargo, una mayor carga animal implica un mayor riesgo pues, si disminuye el CC, los animales comenzarán a perder peso más prontamente. Además, debe recordarse que, para estas simulaciones, solo se afectó el CC durante la primavera y el verano, e incluso con CC elevados, el campo natural tiene su estacionalidad típica (Berretta *et al.*, 2000). En los pastoreos continuos, una medida posible para enfrentar el cambio climático y mejorar la producción de pasturas y los resultados de rodeos de cría pastoreando campo natural es manejar cargas variables (Claramunt *et al.*, 2018). Los sistemas PRV podrían soportar mejor la adversidad climática sin reducir la carga del sistema, ya que pueden aumentar los períodos de descanso de los potreros. Otra estrategia utilizada es la suplementación, que se utiliza para compensar las deficiencias en la cantidad y composición de la pastura, por ejemplo, la escasez de proteína. Esta estrategia es compatible con los sistemas PRV, pero debe tenerse en cuenta que uno de los beneficios de estos sistemas es que funcionan con bajos costos, como se observó en el trabajo II, donde los costos de alimentación representaron entre 3 y 11% de los costos totales.

Surge la interrogante de cuál es la carga más favorable, si aquella que arroja los mejores resultados a un CC, o si es mejor sacrificar parte de la ganancia en pos de una carga inferior, pero que pueda soportar mejor las situaciones climáticas adversas. Los conceptos de capacidad de carga o carga óptima son discutidos (Ungar, 2019). En estos casos, se debe plantear qué porcentaje de pérdida resulta tolerable, y a partir de cuándo es recomendable suplementar o, en casos extremos, vender animales.

Por último, destaca la importancia de los precios. Este trabajo usó un rango amplio de precio de venta por kg de PV (entre 1,3 y 3 dólares), en parte porque era deseable ver cómo respondía el sistema, pero también en parte porque grandes variaciones de precio en el ganado ha sido la realidad de los últimos años; El

precio promedio del novillo en julio de 2018 fue de 1,56 dólares/ kg de PV, mientras que en julio de 2022 se situó en 2,80 (ACG, 2022). Sin embargo, estos precios no fueron ascendiendo de manera lineal, por el contrario, en 2020 se observó una fuerte depresión de los mismos, consecuencia de la caída de la demanda internacional debido a la pandemia. Estos precios en pie dependen, principalmente, de los precios de faena, los cuales, a su vez, se dictan por el mercado internacional.

9.4. Conclusiones

El ABM resultante permitió simular el manejo de un sistema PRV considerando la espacialización, donde la pastura de cada potrero crecía y cada lote de animales se movía de manera independiente. Los resultados obtenidos demostraron resiliencia ante situaciones de precios bajos y clima adverso, siendo los resultados dependientes de la carga animal. El grupo de productores con los que se trabajó en el modelado participativo demostró interés por el modelado, conocimiento de la curva de crecimiento de la pastura y preocupación por problemáticas ambientales.

10.DISCUSIÓN GENERAL

Los predios analizados en esta tesis no cumplieron con todas las características detalladas por Wendling y Ribas (2013), por lo que se podría discutir si amerita denominarlos como sistemas PRV o si deberían llamarse “camino a PRV”. Sin embargo, el no cumplimiento total de dichas características también se observa en los predios evaluados en la bibliografía consultada y, al compararlos con esta, se observa que el promedio de IC-PRV obtenido en este trabajo (entre 68% y 94%) es elevado en comparación con otros (Favaro, 2022; Souza y Ribas, 2011; Wendling y Ribas, 2013). En este contexto, surge la interrogante de si la adopción de algunas características debería tener más importancia que otras a la hora de considerar un sistema como PRV. Favaro (2022) realiza una clasificación de los predios encuestados, en la que considera como PRV solo a aquellos que cumplen los principios de Voisin, tienen acceso al agua y a la sombra en los potreros, no utilizan agroquímicos y utilizan principalmente pasturas perennes; por otro lado, clasifica como “camino a PRV” a los sistemas que cumplen las leyes de Voisin y tienen acceso al agua, pero no a la sombra y/ o utilizan agroquímicos; y como PR a aquellos que no tienen libre acceso al agua. Utilizando esta clasificación, este trabajo tendría dos sistemas PRV (predios 2 y 3), uno camino a PRV (predio 1) y uno con PR (predio 4). Cabe destacar que la característica que menos se cumplió para los cuatro predios estudiados fue la de sombra en todos los potreros, siendo esta característica la más deficiente en la bibliografía consultada (Favaro, 2022; Souza y Ribas, 2011; Wendling y Ribas, 2013). Por otra parte, las características relacionadas a las leyes de Voisin y las de no uso de agroquímicos ni fertilizantes químicos fueron las que tuvieron mayor grado de cumplimiento.

En general, los trabajos que analizan resultados de predios que utilizan PRV describen las características del sistema de manera simplificada (Murphy *et al.*, 1986; Sorio, 2010) o simplemente dicen que los predios utilizaban PRV (Díaz Viladevall *et al.*, 2003; Seó *et al.*, 2017; Reyes Silva *et al.*, 2022), por lo que no se puede saber con certeza si cumplían todas las características o en qué proporción las cumplían y cuáles eran sus fortalezas y cuales sus debilidades. Además, si bien la denominación PRV fue establecida por Pinheiro Machado, a veces se utiliza para hablar exclusivamente de las cuatro leyes descritas por Voisin, sin explicitar si se están teniendo en cuenta otras prácticas, como la no utilización de agroquímicos o la disponibilidad de agua y sombra en todos los potreros. Si bien la definición de PRV puede concretarse en un listado de características específicas bien definidas, los predios que se denominan como PRV presentan una gran variabilidad entre sí, no solo por características independientes del PRV (como tamaño, escala o condiciones del entorno), sino también por el diferente grado de adopción de las leyes del PRV.

El uso del IC-PRV es una herramienta que podría contribuir a que los futuros estudios de sistemas PRV sean más precisos y más fáciles de comparar. Una de las fortalezas de este trabajo es que, si bien el número de predios analizados fue

reducido, se conoce el grado de adopción de cada característica para cada predio, permitiendo analizar las similitudes entre ellos, así como las fortalezas y debilidades de cada uno.

Una de las limitantes de este trabajo fue que contó con el análisis de un solo predio ovino. Esto se suma a la muy escasa bibliografía encontrada sobre el uso de PRV en ovinos, dando como resultado que la información de este tipo de predios continúa siendo limitada. Aun así, se encontraron ciertas similitudes entre los predios vacunos, diferenciando al predio ovino de estos. La inversión del predio ovino fue mayor y sus beneficios (MB, IKP e IFN) fueron menores. Sin embargo, su producción en kg de carne equivalente/ ha SPG fue elevada (173 y 244 kg para los ejercicios 1 y 2, respectivamente), siendo el segundo predio con mayor producción por ha. La causa más evidente para el menor desempeño económico del predio ovino en comparación con los vacunos, a pesar de su buena productividad, se explica por la mayor inversión en divisiones por parte del predio ovino. En efecto, el mayor número de líneas de alambrado requerido para la especie ovina determina una mayor inversión al momento de la instalación del sistema. Esta elevada inversión requerida podría estar influyendo en el menor IC-PRV que obtuvo este predio en comparación con los predios vacunos. También es posible que la menor trayectoria de este predio este influyendo en sus resultados, visto que comenzó su instalación del sistema PRV en 2017, mientras que los predios vacunos comenzaron entre 2012 y 2013.

Por otra parte, existen otros factores que también podrían estar influyendo en las diferencias en los resultados observados entre el predio ovino y los predios vacunos, como el uso de diferentes canales de comercialización, condiciones sociales de las familias en los años estudiados y particularidades de cada rubro productivo. Se podría pensar que el haber evaluado diferentes ejercicios (año calendario para el predio ovino, año agropecuario para los predios vacunos) pudieran haber sido otra fuente de variación, sin embargo, es poco probable pues fueron ejercicios de igual duración (un año). Además, al evaluar dos ejercicios para cada predio, se pudo observar que las diferencias entre un período y el otro eran escasas cuando se comparaban entre si los dos resultados del mismo predio.

En cuanto a los predios vacunos, presentaron indicadores descriptivos (superficie, CONEAT, UG), productivos (ganancia diaria, kg/ha) y económicos (PB, MB, IKP, IFN) diferentes, lo cual era esperable, ya que se había escogido un grupo heterogéneo. Se destaca como positivo la elevada producción, siendo superior al promedio de los predios monitoreados por el IPA (Resumen del ejercicio 2018-2019 y 2019-2020). Destaca, además, que el predio con mayor producción de kg/ha fue el predio 3, que reúne las particularidades de ser el predio más pequeño (3ha de SPG), con mayor índice CONEAT (214) y, además, obtener el mayor IC-PRV, con 94%.

En cuanto a los costos, los cuatro establecimientos analizados presentaron una estructura similar, siendo la mayoría de los costos fijos, en no efectivo y directos a la ganadería en PRV. Al analizar los tres sistemas vacunos, se observan además otras similitudes en cuanto a los costos por kg y los costos directos por ha, principalmente los referentes a la instalación del sistema PRV. Los costos indirectos presentaron más diferencias, motivo por el cual se escogió el MB sobre costos directos como principal indicador económico a utilizar en el ABM. En efecto, el MB presentaba menor variación que los otros indicadores y parecía adecuarse mejor para ser utilizado en un modelo que partía de los datos de tres predios. Por el mismo motivo, no se consideraron los datos del predio ovino cuando se desarrolló el modelo.

Por otra parte, resulta relevante destacar la importancia del IFN en este trabajo. No existe consenso en cómo valorizar la mano de obra en los sistemas familiares, lo que se convierte en un desafío y conlleva el riesgo de la sub o sobreestimación de este costo. El IFN permite comparar predios familiares sin este factor de variabilidad. En este caso, todos los predios analizados arrojaron valores positivos de IFN, lo que demuestra que la actividad otorga un beneficio a las familias. Es importante destacar que este valor fue positivo tanto para los cálculos en valores corrientes como en valores constantes, lo que demuestra la resiliencia de estos sistemas, considerando los grandes cambios que hubo tanto en el precio del ganado como en el tipo de cambio (o cotización) para los años analizados (ACG, 2022). Aun así, el IFN debería compararse con el presupuesto familiar, siendo su objetivo igualar o superar dicho presupuesto; solo así puede asegurarse la continuidad del sistema productivo. Únicamente si se supera el presupuesto familiar, el sistema puede tener capacidad de acumulación, lo que permitiría nuevas inversiones.

El modelo ABM realizado es un avance hacia el entendimiento de los sistemas PRV. El utilizar promedios de los tres predios vacunos tuvo la ventaja de que considera varios predios y sus resultados no dependen de una única situación particular. Sin embargo, su utilidad como herramienta para la toma de decisiones, en esta versión, es limitada. Continuar con esta línea mejorando el modelo con más información podría resultar provechoso. En la encuesta del taller III, los productores expresaron interés por la herramienta y por nuevas versiones que se adapten a sus predios específicos. Sin embargo, esto requeriría que aporten más información, lo que no siempre es sencillo. La fortaleza del modelo desarrollado es que con esta base es posible adaptarlo a diversas situaciones, modificando la cantidad de animales, la superficie, etc. Esto permite pensar en la posibilidad de, utilizando esta base, adaptar el modelo a predio específicos. También se puede considerar la posibilidad de hacer simulaciones más largas, de varios años, y también el poder comparar con otros sistemas de pastoreo, modificando únicamente el comportamiento del ganado (el manejo) y manteniendo las variables de crecimiento de la pastura y el ganado iguales. Todo esto es posible

ya que el modelo utiliza agentes individuales y genera propiedades emergentes (la ganancia de peso).

El modelo dio resultados favorables con cargas inferiores a las usadas por los productores, es posible que sea necesario calibrarlo con más fineza para ajustar los resultados, para lo cual también se requiere más información. En concreto, el modelo obtuvo valores de MB negativos a partir de cargas poco superiores a 1 UG/ha, cuando los predios estudiados utilizaban cargas de 1,32, 0,74 y 2,35 (predios 1, 2 y 3, respectivamente). Es posible que la altura inicial utilizada para las simulaciones (4 cm) sea inferior a la que tuvieron los predios analizados al comenzar sus ejercicios. Sin embargo, en el trabajo de Dieguez y Fort (2019), una altura inicial de 3,7 cm produjo un MB similar al MB promedio de empresas monitoreadas por el IPA para el ejercicio 2016-2017 (IPA, 2018). Además, parecía adecuado utilizar una altura inicial relativamente baja para desafiar la resiliencia del sistema modelado. También debe recordarse que los predios tenían índices CONEAT variados, de 91, 93 y 214 (predios 1, 2 y 3, respectivamente). A pesar de la información limitada, el modelo permitió la espacialización del problema y las variables se comportaron conforme a lo esperable.

Si bien esta tesis se enfocó en variables productivas y económicas, las entrevistas a los productores permitieron recibir información respecto a aspectos ambientales y sociales de los sistemas productivos. Resalta la preocupación de los productores, más allá de las motivaciones económicas, sobre la conservación ambiental y, por otra parte, la búsqueda por disminuir las horas diarias dedicadas al sistema productivo. Este último aspecto estaría vinculado, entre otras cosas, a la búsqueda de una mejor calidad de vida, siendo esto de marcada importancia, ya que la excesiva carga laboral es uno de los problemas más frecuentes en este tipo de establecimientos (Dogliotti et al, 2014). El resultado de la encuesta realizada por Farley *et al.* (2012) a productores/as que manejaban sistemas PRV revela que el 49% respondió haber disminuido las horas de trabajo dedicadas al sistema. En este trabajo, el tiempo de trabajo dedicado al sistema PRV por día varió entre 1,5 y 5 horas. Esta dedicación parece no ser excesiva y es compatible con otras actividades.

Sería interesante evaluar predios con PRV mediante una evaluación multicriterio, como la utilizada por Febrer *et al.* (2021), para determinar la influencia de este sistema en la sustentabilidad ambiental y social. Es posible que, incluso si no ofreciera una ventaja económica frente a otros sistemas de pastoreo, el PRV tenga otros beneficios que son tenidos en cuenta por los productores a la hora de decidir adoptar este sistema. Estos factores deben ser tenidos en cuenta a la hora de comparar sistemas de pastoreo rotativos y continuos. También debe tenerse en cuenta en esta discusión, no solo la escasez de información por parte de los pastoreos rotativos si no, además, áreas donde se necesita más investigación tanto en sistemas rotativos como continuos como, por ejemplo, en el comportamiento ingestivo de los animales. El comportamiento animal puede aportar información

valiosa para comprender parte de la dinámica de los sistemas productivos. Sería interesante poder incluir factores como la dominancia o la selectividad en modelos PRV, y poder conocer si estos factores influyen de manera diferente en este tipo de sistema que en sistemas tradicionales.

Esta tesis estudió sistemas PRV a través de tres herramientas diferentes: el IC-PRV, el análisis económico y el modelado multiagente. Si bien se eligió el sistema PRV por el interés que han demostrado productores/as de nuestro país y la falta de información que se tiene de ellos, esta tesis también se puede considerar un modelo donde aplicar herramientas que contribuyan tanto a definir los sistemas en los que se trabaja y se estudia, como a la toma de decisiones.

11. CONCLUSIONES

El presente trabajo caracterizó cuatro predios ganaderos uruguayos que utilizan PRV, utilizando tres herramientas diferentes. Esta evaluación multimetodológica permitió encontrar diferencias y similitudes entre los predios en cuanto al IC-PRV así como sus resultados productivos y económicos, y demuestra la posibilidad de implementar un ABM de un sistema PRV, incorporando elementos de modelado participativo y datos económicos de casos de estudio.

Los predios analizados cumplieron mayoritariamente con las características del PRV. Los puntajes más elevados se observaron en características relacionadas al cuidado ambiental, mientras que los más bajos correspondieron a la sombra en potreros.

Los indicadores productivos de los predios estudiados fueron elevados, con rendimiento y PB superiores al promedio del país para el mismo período. Destaca que el predio con mayor producción por ha es el que obtuvo mayor puntaje de IC-PRV. Por otra parte, los indicadores económicos fueron variados, destacándose que en todos los casos el IFN fue positivo. La estructura de costos fue similar entre los cuatro predios, y se encontraron más similitudes entre los predios vacunos.

El ABM resultante es una primera aproximación a la modelización multiagente de un sistema PRV en Uruguay, que pudo representar los principales elementos de un sistema PRV a través de la espacialización del pastoreo. El modelo incorporó la visión de los productores mediante la utilización del modelado participativo y elementos de los casos de estudios a través de la utilización de datos económicos de los predios vacunos analizados. Los resultados de las simulaciones en diferentes situaciones de carga, precios y condiciones climáticas adversas demostraron resiliencia del modelo.

De los resultados del IC-PRV, los objetivos de los productores y la participación del grupo en los talleres se concluye que la motivación por adoptar el PRV no se debe exclusivamente a objetivos productivos y económicos, sino que también pesan otros objetivos, como aquellos relacionados a la conservación ambiental.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACG. (2022). Evolución de precios. Asociación de Consignatarios del Uruguay. Disponible en: <https://acg.com.uy/>

Almeida LB, da Costa FMG, Panhoca L, Gomes G de A, Robazza W da S. (2011). Managerial controls practices by milk producers in the West of Santa Catarina that adopt the method of Rational Grazing Voisin (PRV). *Custos e @gronegocio online* 7:120-139.

Álvarez J, Falcao O. (2011). Manual de gestión de empresas agropecuarias. Departamento de Publicaciones de la Facultad de Agronomía, UdelaR, Uruguay.

Ayala, W. (2010). Los desafíos tecnológicos de la ganadería en los pastizales del Río de la Plata. En: Altesor A, Ayala W, Paruelo JM. (2010). Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales. INIA, Serie: FPTA N° 26, Montevideo, Cap. 14, pp. 209-214.

Barnard CS, Nix JS. (1984). Planeamiento y control agropecuario. 2ª ed. Ateneo, Buenos Aires.

Bartaburu D, Bommel P, Corral J, Dieguez F, Duarte E, Montes E, Morales H, Pereira M. (2011). Desarrollo participativo de un modelo de simulación multiagentes para contribuir a la mejor adaptación de productores ganaderos del basalto uruguayo a la sequía. XXII Reunión ALPA, 24-26, Octubre, Montevideo, Uruguay.

Benítez G, García R, Monteverde S, González R. (2018). Integrando ovinos al manejo agroecológico en la Región Metropolitana uruguaya: resultados productivos y económicos en Ecogranja Svealand. *Cadernos de Agroecología* 13:7-16.

Berretta EJ, Risso DF, Montossi F, Pigurina G. (2000). *Campos* in Uruguay. En: Lemaire G, Hodgson J, de Moras A, Nabinger C, Carvalho PC de F. (2000) *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Ed CABI Publishing 1ª ed Wallingford, UK, Cap. 19, pp.377-394.

Berretta EJ. (2005). Producción y manejo de la defoliación en campos naturales de basalto. Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural, INIA 151:61-73.

Blackshaw JK, Blackshaw AW. (1994). Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Aust J Exp Agric* 34:285-295.

Bolívar H, Trocóniz J, Ruiz A. (2016). Diseño y evaluación de una estructura de costos de la ganadería bovina en el estado Barinas, Venezuela. *Saber* 28:761-774.

Bommel P, Dieguez F, Bartaburu D, Duarte E, Montes E, Pereira Machín M, Corral J, Pereira de Lucena CJ, Morales Grosskopf H. (2014). A Further Step Towards Participatory Modelling. Fostering Stakeholder Involvement in Designing Models by Using Executable UML. *J Artif Soc Soc Simul* 17:1-15.

Boote KJ, Jones JW, Pickering NB. (1996). Potential uses and limitations of crop models. *Agron J* 88: 704 - 716.

Bortoli A, Schmitt Filho AL, Cazella AA. (2005). Viabilização de unidades familiares rurais a partir de produção animal sob pastoreio voisin. *Revista Eletrônica de Extensão* 3:3-11.

Bousquet F, Barreteau O, Le Page C, Mullon, Weber J. (1999). An environmental modelling approach: the use of multi-agent simulations. *Advances in environmental and ecological modelling* P.113-122.

Brambila-Paz JJ, Martínez-Damián MA, Rojas-Rojas MM, Pérez-Cerecedo V. (2013). La bioeconomía, las biorefinerías y las opciones reales: el caso del bioetanol y el azúcar. *Agrociencia* 47:281-292.

Briske DD, Derner JD, Brown JR, Fuhlendorf SD, Teague WR, Havstad KM, Gillen RL, Ash AJ, Willms WD. (2008). Rotational Grazing on Rangelands: Reconciliation of Perception and Experimental Evidence. *Rangeland Ecol Manage* 61:3-17.

Brougham RW. (1955). A Study in Rate of Pasture Growth. *Aust J Agric Res* 6:804.

Bryant JR, Snow VO. (2008). Modelling pastoral farm agro-ecosystems: A review. *New Zeal J Agric Res* 51: 349-363.

Bugge MM, Hansen T, Klitkou A. (2016) What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. *Sustainability* 8:691.

Carvalho Paulo C, Paruelo J, Ayala W. (2008). La intensificación productiva en los pastizales del Río de la Plata: tendencias y consecuencias ecosistémicas. XXII Reunión del Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur: Grupo Campos, 21-23, Octubre, Minas, Uruguay, P. 29-40.

Centro Emmanuel. (2022). ¿Qué es el Centro Emmanuel? Disponible en: <https://centroemmanuel.org/el-centro/>

Chía E, Testut M, Figari M, Rossi V. (2003). Comprender, dialogar, coproducir: reflexiones sobre el asesoramiento en el sector agropecuario. *Agrociencia* 7:77-91.

Colnago P, Dogliotti S. (2020). Introducing labour productivity analysis in a co-innovation process to improve sustainability in mixed family farming. *Agric Syst* 177:102732.

CONEAT. (1979). Grupos de suelos CONEAT. Índice de productividad. Comisión Nacional de Estudio Agronómico de la Tierra. Uruguay. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/tramites-y-servicios/servicios/consulta-coneat>

Consejo de Salarios, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Uruguay. Ajustes de 2018, 2019 y 2020 para Ganadería, Agricultura y actividades conexas. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-trabajo-seguridad-social/tematica/22-ganaderia-agricultura-actividades-conexas-0>

Claramunt M, Fernández-Foren A, Soca P. (2018). Effect of herbage allowance on productive and reproductive responses of primiparous beef cows grazing on Campos grassland. *Anim Prod Sci* 58: 1615-1624.

Daza A, Martín R. (2007) Estimación de la carga ganadera económicamente óptima en fincas de ganado vacuno de carne del ecosistema de la dehesa. *ITEA* 28:294-296.

Declaración de Dublin. (2023). <https://www.dublin-declaration.org/>

Deniz M, Schmitt Filho AL, Farley J, de Quadros SF, Hötzel MJ. (2019). High Biodiversity Silvopastoral System as an Alternative to Improve the Thermal Environment in the Dairy Farms. *Int J Biometeorol* 63:83–92.

Deniz M, de Sous, KT, Moro MF, do Vale MM, Dittrich JR, Machado Filho LCP, Hötzel MJ. (2021). Social hierarchy influences dairy cows' use of shade in a silvopastoral system under intensive rotational grazing. *Appl Anim Behav Sci* 244:105467.

Díaz Viladevall M, Ray Ramírez J, Pérez Salas D, Benítez Jiménez, Guerra Sánchez J. (2003). Evaluación económica de dos sistemas de pastoreo para la producción de leche con bajos insumos en suelo vertisol. *Rev Prod Anim* 15:63-65.

DIEA (2011). Censo general agropecuario 2011. Ministerio de ganadería agricultura y pesca, dirección de estadística agropecuaria, Uruguay. Disponible en: <http://www.ine.gub.uy:82/Anda5/index.php/catalog/641>

DIEA. (2022). Anuario estadístico agropecuario 2020. Ministerio de ganadería agricultura y pesca, dirección de estadística agropecuaria, Uruguay.

Dieguez F, Bommel P, Corral J, Bartaburu D, Pereira M, Montes E, Duarte E, Morales Grosskopf H. (2012). Modelización de una explotación ganadera extensiva criadora en basalto. *Agrociencia* 16:120-130.

Dieguez F, Terra R. (2014). Aplicación del Modelo de una Explotación Ganadera Extensiva (MEGanE) para el estudio de la sensibilidad de la producción ganadera a la amplitud de la variabilidad de la oferta de forraje. 6º Congreso Argentino de AgroInformática, 2-3, Setiembre, Buenos Aires, Argentina, P.50-63.

Dieguez F, Fort H. (2017). Towards scientifically based management of extensive livestock farming in terms of ecological predator-prey modeling. *Agric Syst* 153:127-13

Dieguez F, Fort H. (2019). An application of a dynamical model with ecological predator-prey approach to extensive livestock farming in uruguay: Economical assessment on forage deficiency. *J Dyn Games* 6:119-129.

Dogliotti S, García MC, Peluffo S, Dieste JP, Pedemonte AJ, Bacigalupe GF, Scarlato M, Alliaume F, Alvarez J, Chiappe M, Rossing WAH. (2014). Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. *Agric Syst* 126:76-86.

Duque Montoya M, Fonnegra Páez A. (2018). Estudio técnico para la transformación de la unidad de Ganado de Carne en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano a Pastoreo Racional Voisin (PRV). Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Ederer P, Leroy F. (2023). The societal role of meat—what the science says. *Anim Front* 13:2.

Etienne M, Du Toit D, Pollard S. (2008). ARDI: a co-construction method for participatory modelling in natural resources management. 4th Biennial Meeting of International Congress on Environmental Modelling and Software, 7-10, Julio, Barcelona, España, P.866-873.

Étienne M. (2014). *Companion Modelling: A Participatory Approach to Support Sustainable Development*. Ed Springer, 1ª ed. Paises Bajos.

FAO. (2015). Hacia la elaboración de directrices sobre una bioeconomía sostenible. Food and Agriculture Association, Oficina regional para América Latina y el Caribe. Disponible en: <https://www.fao.org/publications/card/es/c/b7c6e934-0291-4e93-8f56-f690bf6f1ccd/>

FAO. (2021). Producción pecuaria en América Latina y el Caribe. Food and Agriculture Association, Oficina regional para América Latina y el Caribe. Disponible en: <http://www.fao.org/americas/prioridades/produccion-pecuaria/es/>

Farley J, Schmitt A, Alvez J, Ribeiro de Freitas Jr N. (2012). How valuing nature can transform agriculture. *Solutions Journal* 2:64-73.

Favaro M. (2022). Análisis de la implementación y propagación del pastoreo racional Voisin y otros sistemas de pastoreo no tradicionales en Uruguay. Tesis de grado, Facultad de Veterinaria, UdelaR, Montevideo, Uruguay.

Favaro M, Monteverde S, García R, Dieguez F. (2021). Análisis de la implementación del PRV y otros sistemas no tradicionales de pastoreo en Uruguay. Libro de resúmenes del II Congreso Argentino de Agroecología, 13-15, Octubre, Chaco, Argentina.

Febrer C, Dieguez F, Gazzano I. (2021). Multicriteria sustainability evaluation of thirteen extensive rearing and full-cycle family livestock farming systems of Uruguay. *Agrociencia* 25:2-17.

Figari M, Gravina V, de Hegedüs P. (2009). Evaluación de impacto económico en explotaciones familiares: una tipología según criterios de subjetividad. *Agrociencia* 13:60-69.

Fowler M. (2004). UML Distilled: a brief guide to the standard object modelling language. Pearson education. 3^a ed. Boston.

Francione GL. The Philosophy of Animal Rights. 70th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, 26-30, Agosto, Gante, Bélgica, P-283.

Garcia Filho DP. (2011). Convênio INCRA/FAO: Análise e diagnóstico de sistemas agrários: Guia metodológico. Disponible en: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/administracao/legislacao/livros/GUIA%20METODOLOGICO%20ANALISE%20DIAGNOSTICO%20DE%20SISTEMAS%20AGRARIOS.pdf>

Garibotto Carton G. (2016). El valor de los productores en la investigación participativa sobre estrategias de pastoreo en Uruguay. VII Congreso Nacional de Manejo de Pastizales Naturales, 5-6, Noviembre, Virasoro, Argentina, P:27-30.

Gerber PJ, Mottet A, Opio CI, Falcucci A, Teillard F. (2015). Environmental impacts of beef production: Review of challenges and perspectives for durability. *Meat Sci* 109:2-12.

González R, Monteverde S, García R, Benítez Gustavo. (2017). Elaboración de un presupuesto de capital para la instalación de un sistema de Pastoreo Racional Voisin en un predio familiar de cría ovina. X Jornadas técnicas veterinarias, 15-16, Noviembre, Montevideo, Uruguay.

Greenwood PL. (2021). Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. *Animal* 15:100295.

Grimm V, Railsback SF, Vincenot CE, Berger U, Gallagher C, DeAngelis DL, Edmonds B, Ge J, Giske J, Groeneveld J, Johnston ASA, Milles A, Nabe-Nielsen J, Polhill JG, Radchuk V, Rohwäder MS, Stillman RA, Thiele JC, Ayllón D. (2020). The ODD Protocol for Describing Agent-Based and Other Simulation Models: A Second Update to Improve Clarity, Replication, and Structural Realism. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 23.

Guerra G. (2002). El agronegocio y la empresa agropecuaria frente al siglo XXI. Agroamérica San José, Costa Rica.

Heiberg EJ, Syse KL. (2020). Farming autonomy: Canadian beef farmers reclaiming the grass through management-intensive grazing practices. *Organic Agriculture* 10:471-486.

INAC. (2021). Anuario estadístico 2021. Instituto nacional de carnes. Disponible en: https://www.inac.uy/innovaportal/file/21459/1/inac_anuario_2021.pdf

IPA. (2019). Presentación Resultados de Carpetas Verdes. Ejercicio 2018-2019. Instituto Plan Agropecuario. Disponible en: <https://planagropecuario.org.uy/web/monitoreo-de-empresas-ganaderas.html>

IPA. (2020) Resumen de los ejercicios 2018-2019 y 2019-2020. Instituto Plan Agropecuario. Disponible en: <https://planagropecuario.org.uy/web/monitoreo-de-empresas-ganaderas.html>

Jakoby O, Quaas MF, Baumgärtner S, Frank K. (2015). Adapting livestock management to spatio-temporal heterogeneity in semi-arid rangelands. *J Environ Manage* 162:179-189.

Jiménez Jiménez RA, Espinosa Ortiz V, Soler Fonseca DM. (2014). El costo de oportunidad de la mano de obra familiar en la economía de la producción lechera de Michoacán, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 5:47-56.

Kerslake E, Kemper JÁ, Conroy D. (2022). What's your beef with meat substitutes? Exploring barriers and facilitators for meat substitutes in omnivores, vegetarians, and vegans. *Appetite* 170:105864.

Lenzi A, Pinheiro Machado LC, de Quadros FLF, Pinheiro Machado Filho LC, Barbero LM, Roma CC. (2009). Desempenho animal e produção de forragem sob pastejo contínuo ou pastoreio racional voisin. *Revista Brasileira De Agroecologia*, 4(3).

Lenzi A. (2012) Fundamentos do pastoreio racional voisin. *Rev Bras de Agroecologia* 7:82-94.

McKnight L, Ibeagha E. (2019). Modeling of livestock systems to enhance efficiency. *Animal Frontiers* 9:3-5

MGAP (2016). Resolución N° 1.013/016 MGAP Definición del Productor Familiar Agropecuario. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/institucional/normativa/resolucion-n-1013016-mgap-definicion-del-productor-familiar-agropecuario>

Modernel P, Ruggia A, Rossing W, Soca P, Do Carmo M, Corbeels M, Tiftonell P, Picasso V, Dogliotti S. (2019). Modelling livestock grazing systems based on native grasslands-The PASpALuM model 1. Evaluation of herbage dynamics module. 6th International Symposium for Farming Systems Design, 18-21, Agosto, Montevideo, Uruguay.

Mora V y Pezzani F (2018). Relevamiento de sistemas de pastoreo no tradicional en Uruguay. VI Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal, 19-21, Marzo, Tacuarembó, Uruguay, P 165.

Morales H. (2007). L'évaluation des conséquences de décisions stratégiques en élevage extensif en Uruguay Une approche par les systèmes multi-agents. Tesis Doctoral, AgroParisTech, Francia.

Mott GO. (1960). Grazing pressure and the measurement of pasture production. 8th International Grassland Congress. Alden Press, pp.606-611.

Murphy WM, Rice JR, Dugdale DT. (1986). Dairy farm feeding and income effects of using Voisin grazing management of permanent pastures. *Am J Altern Agric* 1:147-152.

NorthWestern. (2022). NetLogo, The Center for Connected Learning and Computer-Based Modelling. NorthWestern University, Illinois, USA. Disponible en: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo-ccl.shtml>

Noy-Meir I. (1975). Stability of Grazing Systems: An Application of Predator-Prey Graphs. *Journal Ecol* 63:459-481.

Noy-Meir I. (1976). Rotational grazing in a continuously growing pasture: a simple model. *Agric Syst* 1:87-112.

Ojeda-Falcón AD, Pinheiro Machado LC, Pinheiro Machado Filho LC, Coré O, Echarri N. (2014). 18 años de Pastoreo Racional Voisin al sur de la provincia de Santa Fé, República de Argentina. *Cadernos de Agroecología* 9:1-5.

Osty PL. (1978). L'exploitation agricole vue comme un système. Diffusion de l'innovation et contribution au développement. *Bulletin Technique d'Informations (BTI) n°326*: 43-49. Paris. Bull. Techni. Inf. Min. Agric 326, 43-49

Pastor J. (2008). Predators and their prey. En: Pastor J. (2008). *Mathematical ecology of populations and ecosystems*. Reino Unido, Cap 8, pp 129-158.

Pinheiro Machado LC. (2011). *Patoreo Racional Voisin. Tecnología agroecológica para el tercer milenio*. Ed. hemisferio sur, 3^{era} ed. Argentina.

Pinheiro Machado Filho LC, Seó HLS, Daros RR, Enriquez-Hidalgo D, Wendling AV, Pinheiro Machado LC. (2021). Voisin Rational Grazing as a Sustainable Alternative for Livestock Production. *Animals* 11:3494.

Pinheiro Machado Filho LC, de Sousa Pretto F, Acuña Ballesteros S, Donadio da Silva Pereira JP, Oliveira K, Signor P. (2022). Effect of water and shade availability on grazing behaviour of cows in a Voisin Rational Grazing System. 55th Congress of the ISAE, 4-8, Setiembre, Ohrid, Macedonia.

Piñeiro D. (2004). El capital social en la producción familiar. Ciclo de conferencias "Aportes para el futuro de la granja" 40 años de INIA Las Brujas. 1-11.

Railsback SF, Grimm V. (2019). *Agent-based and individual-based modeling: A practical introduction*. Ed. Princeton University Press 2^a ed. Nueva Jersey.

Reyes Silva F, Borja M, Condo Plaza L, Roberto Marini P. (2022). Voisin Rational Grazing: An Agroecological Alternative to Achieve Sustainable Livestock in Ecuador. *The Ecuadorian Journal of STEAM* 2:104-112.

Romero NF. (1995). *Pastoreo Racional, alimente sus pastos con sus animales*. Buenos Aires: Orientación Gráfica.

Rossler N, Zabala JM, Modesto MF, López Cuesta S, Forni MA. (2020). Diagnóstico técnico-económico y propuesta a nivel predial para dos productores ganaderos familiares del territorio norte de Santa Fe, Argentina. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 20:347-360.

Ruggia A, Modernel P, Rossing WAH, Albin A, Aguerre V, Scarlato S, Soca P, Do Carmo M, Tiftonnell P, Dogliotti S. (2019). *Modelling livestock grazing systems*

based on native grasslands - The PASpALuM model 2: Evaluation of animal dynamics module. 6th International Symposium for Farming System Design, 18-21, Agosto, Montevideo

Ruíz Guevara C, García Hernández LA, Ávila Bello CH, Brunett Pérez L. (2008). Sustentabilidad financiera: el caso de una empresa ganadera de bovino de doble propósito. *Revista Mexicana de Agronegocios* 22:503-515.

Ruiz R, Oregui LM. (2001). El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica (Revisión). *Invest Agr Prod Sanid Anim* 16:29-60.

Schütz KE, Cox NR, Matthews LR. (2008). How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. *Appl Anim Behav Sci* 114:307-318.

Seó HLS, Machado Filho LCP, Brugnara D. (2017). Rationally Managed Pastures Stock More Carbon than No-Tillage Fields *Front Environ Sci* 5:1-8.

Soca P, Ruggia A, Canavelli SB, Tifton P. (2020). Plataforma de innovación para la Sustentabilidad de Sistemas Ganaderos Familiares en Uruguay y Argentina.

Informe final. Disponible en:

https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Informe_t%C3%A9cnico_Final_15461_Ultima_versi%C3%B3n.pdf

Sorio S. (2010). Technical and Economic Results of the Application of Voisin Grazing With Buffalo on Two Farms from Venezuela. 9th World Buffalo Congress, 25-26, Abril, Buenos Aires, p.38-52.

Souza LL, Ribas CED. (2011). Proposta de um índice de conformidade ao Pastoreio Racional Voisin (PRV) – Estudo no assentamento Antônio Tavares – São Miguel do Iguacu – PR. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável* 1:17-25.

Tedeschi LO, Cannas A, Fox DG. (2011). A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and other nutrients for domesticated small ruminants: The development and evaluation of the Small Ruminant Nutrition System. *Small Ruminant Res* 99:174-184.

Tewelde A, Ornelas EG, Magana FL. (2007). Animal production in Latin America and the Caribbean: Limitations, opportunities and perspectives. *Arch Latinoam Prod Anim* 5:53-57.

Thaler RH. (2016). Behavioral Economics: Past, Present, and Future. *Am Econ Rev* 106:1577-1600.

Thaller RH. (2018). Economía del comportamiento: pasado, presente y futuro. *Revista de Economía Institucional* 20:9-43.

Thornley JHM, France J. (2007). *Mathematical Models in Agriculture*, 2nd ed. CABI Publishing, Wallingford, UK.

Ungar ED. (2019). Perspectives on the concept of rangeland carrying capacity, and their exploration by means of Noy-Meir's two-function model. *Agric Syst* 173:403-413.

Villanova IG, Justo AM. (2003). El tratamiento de los costos según las disciplinas intervinientes: el caso de los costos agropecuarios.

Voisin A. (1957). Grazing management in northern France. *Grass Forage Sci* 12:150-154.

Voisin A. (1974). *Productividad de la hierba*. Ed Tecnos, 4ª ed. Madrid, España.

Wedderburn ME, Montes de Oca O, Dieguez F. (2013). Developing frameworks to assess impacts of multiple drivers of change on grassland system. 22nd International Grassland Congress, 15-19, Setiembre, Sydney, Australia, P.1797-1801.

Wendling AB, Ribas CEDC. (2013). Índice de conformidade do pastoreio racional Voisin (IC-PRV). *Rev Bras de Agroecologia* 8:26-38.

Wilensky U, Rand W. (2007). Making Models Match: Replicating an Agent-Based Model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 10.

Zin Battisti LF, Schmitt Filho AL, Loss A, de Almeida Sinisgalli PA. (2018). Soil chemical attributes in a high biodiversity silvopastoral system. *Acta Agron* 67:486-493.

13. ANEXO I – Poster IC-PRV



Eje temático: co-construcción de conocimiento y metodologías de análisis Grado de implementación de Pastoreo Racional Voisin (PRV) en cuatro predios ganaderos de Uruguay

MB López-Pérez; G Benitez; S Monteverde; E Guedes, F Dieguez
Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Uruguay

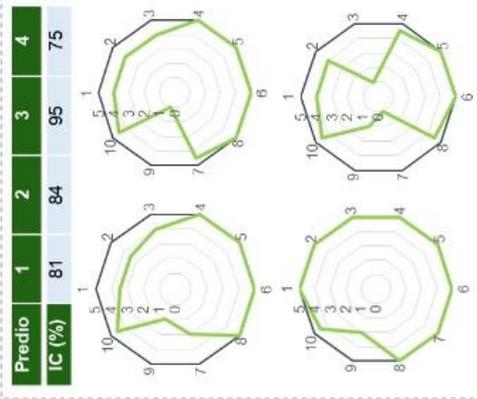
INTRODUCCIÓN

El Pastoreo Racional Voisin (PRV) ha ganado espacio en América Latina por ser una técnica de manejo alternativa de bajo impacto ambiental y costos de producción, y que se adapta bien a los sistemas de producción familiares agroecológicos (Lenzi, 2012). Este trabajo evaluó el grado de implementación en predios ganaderos familiares de Uruguay que utilizan PRV, y qué factores priorizaron en la instalación y el manejo de sus sistemas.

METODOLOGÍA

- Predios: tres orientados a la ganadería de vacunos de carne (predios 1, 2 y 3) y uno a la cría de ovinos (predio 4)
- PRV: en toda o parte de la superficie, con por lo menos un año de antigüedad
- Período de estudio: 2019-2020
- ✓ Visitas a cada predio: 2
- ✓ Los establecimientos se caracterizaron y evaluaron en relación al grado de cumplimiento de las leyes del PRV utilizando los criterios publicados por Wendling y Ribas (2013)
- ✓ Se realizaron entrevistas para conocer los objetivos de los productores

RESULTADOS y DISCUSIÓN



Criterios usados para evaluar el grado de implementación de PRV:

- 1- Respeta tiempo de reposo
- 2- Respeto tiempo de ocupación
- 3- Número de lotes
- 4- Siembra en cobertura y/ o pasturas perennes
- 5- No uso de fertilizantes químicos
- 6- No uso de agrotóxicos
- 7- Agua en piquetes
- 8- Número de piquetes
- 9- Sombra en piquetes
- 10- Diversidad de pasturas

Los productores dan importancia a la conservación del suelo y de la diversidad de especies vegetales, así como a la disminución de la contaminación ambiental.

CONCLUSIONES

- Los factores más priorizados en los predios estudiados fueron el número de piquetes y el no uso de agroquímicos ni fertilizantes químicos.
- El menos priorizado fue: sombra en piquetes.
- La preocupación por el cuidado del ambiente, la sustentabilidad del sistema y la búsqueda por producir de manera agroecológica son algunos de los motivos por los cuales los productores escogieron el sistema PRV.

Lenzi, A. (2012). Revista Brasileira de Agroecología, 7(1), 83-94
Wendling, A.B., Ribas, C.E.D. (2013). Revista Brasileira de Agroecología, 8(3), 26-38

14. ANEXO II – Artículo publicado



Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 2022. 30 (3)

www.doi.org/10.53588/alpa.300312

Caracterización de los resultados productivos y económicos en establecimientos de ganadería vacuna y ovina con sistemas de pastoreo racional Voisin en Uruguay

María Belén López Pérez ¹   Gustavo Benítez  
Emiliano Guedes   Santiago Monteverde   Francisco Dieguez²  

Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Veterinaria,
Universidad de la República, Ruta 8, km 18, Montevideo 13000, Uruguay.

Characterization of productive and economic results in cattle and sheep farms with Voisin Rational Grazing in Uruguay

Abstract. Studies about the use of Voisin Rational Grazing (VRG) in Uruguay are scarce, and there are no studies that systematize earnings and costs for this type of system. The objective of this work was to characterize the productive and economic results of four farms (three cattle farms and one sheep farm) that used PRV in Uruguay. Each farm was visited twice (using a semi-structured interview) to obtain the economic and productive data (years 2018-2019/ 2019-2020). The investment for the VRG was evaluated and the main productive [livestock density, daily gain, meat equivalent (indicator which summarizes meat and wool production)] and economic (gross farm income, cost structure, gross family income and gross margin) indicators were estimated. The estimated investment in VRG in cattle farms ranged between 171 and 203 dollars/ha for paddock separations, and between 133 and 197 dollars/ha for water distribution, being higher in the sheep farm. Production expressed in kg of meat (for the cattle farms) or meat equivalent (for the sheep farm) ranged between 115 and 621 kg/ha. Gross farm income and gross family income varied between 210 and 1532 dollars, and 107 and 1370 constant dollars/ha, respectively. In the cost structure, costs classified as fixed, direct and non-cash were the most relevant, mainly due to the fictitious family salary and the depreciation of the system. Livestock density, productivity and gross income were superior to the average of farms studied in Uruguay during the same period of time. From what was expressed by the farmers, during individual and group meetings, it was concluded that the use of VRG system was not only an economic decision, as farmers also considered environmental aspects.

Key words: rotational grazing, family farms, cost structure

Resumen. Los trabajos sobre Pastoreo Racional Voisin (PRV) utilizando ovinos y bovinos son escasos en Uruguay, no encontrándose antecedentes que sistematicen ingresos y costos en estos sistemas. El objetivo de este trabajo fue caracterizar los resultados productivos y económicos de cuatro predios familiares (tres vacunos y uno ovino) que utilizaban PRV en Uruguay. Se realizaron dos visitas a cada establecimiento (entrevista semiestructurada) para relevar datos económicos y productivos de los ejercicios a analizar (2018-2019/ 2019-2020). Se estimaron los costos de instalación del PRV y se construyeron los principales indicadores productivos (dotación, ganancia diaria, kg de carne equivalente) y económicos [producto bruto (PB) y estructura de costos, ingreso de capital propio, ingreso familiar neto (IFN) y margen bruto]. La inversión estimada en el PRV en los predios vacunos osciló entre 171 y 203 dólares/ha para la división de los potreros, y entre 133 y 197 dólares/ha para la distribución del agua, ambas inversiones fueron superiores en el predio ovino. La producción de carne (predios vacunos) o de carne equivalente (predio ovino) osciló entre 115 y 621 kg/ha. El PB y el IFN, variaron entre 210 y 1532 y entre 107 y 1370 dólares constantes/ha respectivamente. En la estructura de costos se destaca el componente en costos fijos y no efectivos, dado el peso del salario ficto familiar y los costos de depreciación de instalaciones. De estos resultados, se desprende que la dotación, la productividad y el PB fueron superiores al promedio de predios estudiados en el país

Recibido: 2021-11-22. Aceptado: 2022-03-10

¹ Autor para la correspondencia: MaríaBelenL.P1993@gmail.com

² Departamento de producción animal y salud de los sistemas productivos, Facultad de Veterinaria, Ruta 1 km 42-500, Libertad, San José, Uruguay

en el mismo período. De lo expresado por los productores (en instancias individuales y colectivas) se infiere que la utilización del sistema PRV no se trata meramente de una decisión económica, sino que los mismos consideran fuertemente aspectos de conservación ambiental.

Palabras clave: pastoreo rotativo, producción familiar, estructura de costos.

Avaliação do resultado produtivo e econômico em fazendas de bovinos e ovinos com pastoreio Racional Voisin no Uruguai

Resumo. Estudos sobre o sistema de pastoreio Racional Voisin (PRV) envolvendo bovinos e ovinos no contexto produtivo, custos e receitas são escassos no Uruguai. O objetivo do presente trabalho foi caracterizar os resultados produtivos e econômicos de quatro estabelecimentos comerciais (três com gado bovino e um de ovinos) que utilizam o sistema PRV no Uruguai. Durante o trabalho, cada estabelecimento produtivo foi visitado duas vezes (por meio de entrevista semiestruturada) para coleta dos dados econômicos e produtivos (anos 2018-2019/ 2019-2020). Os parâmetros de análise foram investimento de implantação do sistema PRV; indicadores produtivos tais como: lotação animal, ganho de peso médio diário, equivalente de carne (indicador que resume a produção de carne e de lã); e econômicos: renda agrícola bruta, estrutura de custos, renda familiar bruta e margem bruta). O investimento estimado para a implantação do sistema VRG em estabelecimentos de produção bovina variou entre 171 e 203 dólares/ha para instalações de cerca e vedação (piquete/parques), e entre 133 e 197 dólares/ha para as instalações de distribuição de água. A produção expressa em kg de carne (estabelecimentos com gado bovino) ou carne equivalente (estabelecimento com ovinos) variou entre 115 e 621 kg/ha. A receita bruta agrícola e a receita familiar bruta variaram entre 210 e 1532 dólares, e 107 e 1370 dólares constantes/ha, respectivamente. Na estrutura de custos, destaca-se o componente de custos fixos, diretos e não efetivos, devido ao salário familiar e à depreciação das instalações. Os resultados também mostram que a densidade pecuária, a produtividade e a renda bruta foram superiores à média das propriedades estudadas no país no mesmo período. Do que foi expresso pelos agricultores em reuniões individuais e em grupo, conclui-se que a utilização do sistema PRG não é apenas uma decisão econômica, mas também está relacionada com a importância que estes agricultores atribuem à conservação ambiental.

Palavras-chave: pastejo rotacionado, agricultura familiar, estrutura de custos

Introducción

En los países de Latinoamérica, la producción pecuaria contribuye a la soberanía alimentaria y a la economía regional (FAO, 2021). Los desafíos a los que se enfrentan los sistemas pecuarios de la región en este siglo son: aumentar la eficiencia productiva y la calidad e inocuidad de los productos, siendo amigables con el medio ambiente, respetuosos con el bienestar animal y la biodiversidad (Tewolde *et al.*, 2007). El Pastoreo Racional Voisin (PRV) es uno de los pastoreos rotativos desarrollados en la región. Puede definirse como un método racional de manejo del complejo suelo-planta-animal, consistente en el pastoreo directo con altas cargas instantáneas, tiempos cortos de ocupación y descansos variables, para el mejor aprovechamiento de las pasturas (Berretta, 2005; Berton y Ritcher, 2011). El PRV fue desarrollado por Nilo Romero y posteriormente por Luiz Pinheiro Machado (2011) a partir de principios descritos por André Voisin (1957). El PRV no utiliza una secuencia predeterminada, lo que lo diferencia de los pastoreos

rotativos más tradicionales (Lenzi, 2012). El país donde más se ha difundido el PRV es Brasil, principalmente en predios familiares lecheros en la región de Santa Catarina (Almeida *et al.*, 2011; Wendling y Ribas, 2013). La bibliografía sobre PRV reporta mejora en la composición del suelo (Ojeda-Falcon *et al.*, 2014), aumento de la carga animal y de la productividad total (Lenzi, 2009; Sorio, 2010; Farley *et al.*, 2012), disminución de los costos de producción (Murphy *et al.*, 1986; Díaz *et al.*, 2003; Bortoli *et al.*, 2005; Sorio, 2010), y de las horas de trabajo, aumento de la rentabilidad (Bortoli *et al.*, 2005), y mejora de la calidad de vida de los productores (Farley *et al.*, 2012). Sin embargo, estudios exploratorios plantean dificultades en la evaluación económica, como inconsistencias en la clasificación de costos (Almeida *et al.*, 2011) y diferente grado de implementación del PRV (Wendling y Ribas, 2013). Por otra parte, los trabajos que evalúan el desempeño de ganado de carne en PRV son escasos (Lenzi, 2009).



En Uruguay, los sistemas de producción ganadera tradicionales se basan en el pastoreo extensivo y continuo de vacunos y ovinos en forma conjunta (Berreta *et al.*, 1994), sin embargo, han aparecido diversos sistemas de pastoreo no tradicional, entre ellos el PRV (Mora y Pezzani, 2018). Los trabajos sobre predios que utilizan PRV en Uruguay son escasos, (vacunos de carne: Garibotto Carton, 2016; ovinos: Benítez *et al.*, 2018; García *et al.*, 2018). El PRV puede ser una alternativa para predios familiares, pues

supone un aumento de la producción con una disminución de los costos y de la mano de obra (Pinheiro Machado, 2011), sin embargo, requiere de una inversión inicial de alambrado y distribución de agua que puede ser limitante para su adopción (Farley *et al.*, 2012). El objetivo de este trabajo fue caracterizar los resultados productivos y económicos de cuatro predios familiares (tres vacunos y uno ovino) que utilizaban PRV en Uruguay.

Materiales y Métodos

Casos de estudio

Se trabajó con 4 predios familiares, entendiéndose como tal a una explotación trabajada predominantemente con mano de obra de la familia (Piñeiro, 2004). Los predios fueron escogidos por contar con un sistema de registros propio previo al estudio y porque los productores manifestaron su compromiso de compartir la información productiva y económica con nuestro equipo, ambas condiciones necesarias para poder asegurar la calidad de la información. La muestra no se considera representativa de todos los sistemas PRV en Uruguay. Los predios utilizaban PRV en toda o parte de su superficie y habían comenzado la instalación del sistema hacía por lo menos un año al comienzo del trabajo. Los predios se ubicaban en el suroeste del país [Colonia y Montevideo; (34oS 57oO)], tres de ellos estaban orientados a la ganadería de vacunos de carne y uno a la cría de ovinos. El clima en la región es subtropical húmedo, con temperaturas medias que oscilan entre 22.6 °C en enero a 10.6 °C en julio. La precipitación pluvial anual es aproximadamente de 1000 a 1100 mm y si bien llueve todo el año, existe gran variabilidad interanual.

Recolección de datos y estimación de costos

En todos los predios se colectaron datos de dos ejercicios económicos. Para los predios vacunos, se analizaron los ejercicios del 1 de julio de 2018 al 30 de junio de 2019 (ejercicio 1) y del 1 de julio de 2019 al 30 de junio de 2020 (ejercicio 2). Para el predio ovino se consideraron los ejercicios del 1 de enero al 31 de diciembre, para los años 2018 (ejercicio 1) y 2019 (ejercicio 2). El criterio fue diferente en el predio ovino para adecuar el ejercicio económico al ciclo productivo y comercial del establecimiento. Se realizaron dos visitas a cada establecimiento, utilizando una pauta de entrevista semiestructurada. En la primera visita, se colectaron datos necesarios para la caracterización del sistema (inventario de activos, estructura del predio y de la familia), la reconstrucción del proceso productivo

del primer ejercicio, la revisión del sistema de registros y el seguimiento del segundo ejercicio. En la segunda visita, se recolectó la información faltante del segundo ejercicio y se realizaron recorridas por el sistema PRV para relevar los materiales utilizados, tanto para las divisiones de parcelas como para la distribución de agua. Además, se realizó una reunión virtual con cada productor para profundizar la caracterización (objetivos de los productores) y completar datos. Por último, se realizó un encuentro colectivo para la presentación y discusión de los datos analizados. Se valorizó el stock animal al principio y al final de los ejercicios, utilizando precios promedio mensuales de los remates del país (para los valores corrientes), o bien usando el promedio anual del ejercicio 1 (para los valores constantes). Para estimar el costo de instalación del sistema PRV se utilizó como supuesto simplificador considerar que los sistemas se habían instalado en su totalidad justo antes del primer ejercicio analizado.

Para su valorización, se utilizaron los precios de los materiales comprados para reparación (en caso de tenerlos) o se utilizó el promedio de los precios de al menos tres locales de venta. Se estimó la vida útil y el valor residual de cada material utilizado para calcular la depreciación anual mediante el método lineal por antigüedad. No se incluyeron los costos del alambrado perimetral, pozo de agua, ni la valorización de la mano de obra para la instalación del sistema PRV. La cantidad de horas dedicadas diariamente al manejo del sistema PRV se estimó a partir de la percepción de los productores. Esta información se utilizó para calcular el salario ficto familiar, multiplicando las horas de trabajo por el salario por hora de administrador rural: 5.15 y 5.56 dólares para los ejercicios 1 y 2, respectivamente (Fuente: Consejo de Salarios, ajustes para 2018, 2019 y 2020).

Indicadores productivos y económicos

Se estimaron los siguientes indicadores productivos: ganancia diaria, kg de carne, lana y carne equivalente



(CONEAT, 1979). La carne equivalente es un indicador de productividad física, resume la producción carne bovina, carne ovina y lana. Como indicadores económicos más relevantes se estimó el producto bruto (PB), ingreso de capital propio (Ikp), obtenido tras restar todos los costos al PB; ingreso familiar neto (IFN), obtenido sumando el salario ficto familiar al Ikp (Álvarez y Falcao, 2011); y el margen bruto (MB) (Barnard y Nix, 1984) para la ganadería en PRV (por lo tanto, PB y costos directos siguen este criterio). Para identificar la estructura de costos de cada establecimiento, se estimaron los costos totales por hectárea y por kilo de carne (predios vacunos) o carne

equivalente (predio ovino), y se aplicaron las siguientes clasificaciones: (1) costos fijos y variables, (2) costos directos e indirectos, y (3) costos en efectivo y en no efectivo. Todos los indicadores se expresaron en monto absoluto y por hectárea de superficie de pastoreo ganadera (SPG). Para los indicadores económicos, se realizó una valorización a precios corrientes (precios en pesos uruguayos convertidos a dólares, utilizando la cotización promedio del mes de la transacción) y otra a valores constantes (utilizando la cotización del dólar promedio del ejercicio 2018-2019: 32.8 pesos uruguayos).

Resultados

Caracterización de los predios

Los predios vacunos se identificaron del 1 al 3 y al predio ovino se le asignó el número 4. El predio 1 contaba con campo natural mejorado y praderas; el 2

con vegetación espontánea, campo natural mejorado y praderas; el 3 con praderas; y el 4 con vegetación espontánea, praderas y verdeos. En el cuadro 1 se presentan indicadores descriptivos de los 4 predios.

Cuadro 1. Indicadores descriptivos de los predios estudiados: rubros productivos en pastoreo racional Voisin, superficie total y de pastoreo (en ha), superficie en PRV (en ha y % de la superficie de pastoreo), unidades ganaderas/ha promedio de ambos ejercicios, índice Coneat (CONEAT, 1979) y año de inicio de instalación del PRV.

Predio	1	2	3	4
Rubros productivos en PRV	Vacunos Ciclo completo	Vacunos Recría e invernada	Vacunos Recría Nueces pecan	Ovinos Cría
Superficie total	124	31	33	7.5
Superficie de pastoreo	117	30	3	7
Superficie en PRV	37	24.5	3	7
% de superficie pastoreo	32	82	100	100
Unidades Ganaderas/ ha	1.32	0.74	2.35	1.83
Índice CONEAT	91	93	214	138
Año de inicio del PRV	2013	2012	2012	2017

Todos los predios estudiados eran propiedad de quienes los explotaban. La mano de obra contratada en relación a la mano de obra total (promedio de ambos ejercicios) fue 3 % y 25 % para los predios 1, 2, respectivamente y 0 % para los predios 3 y 4. Los propietarios de los predios 2, 3 y 4 viven en sus establecimientos, mientras que el del predio 1 vive aproximadamente a 20 km. Se encontraron varios objetivos similares entre todos los productores: mantener el sistema con una productividad similar o mayor a la actual, dedicarle pocas horas de trabajo diarias, que el sistema se autofinancie y tener bajos costos. Además, todos los productores dieron gran

importancia a la conservación o mejora del suelo y a mantener o aumentar la variedad de las especies vegetales.

Inversión estimada del Pastoreo Racional Voisin

Los predios vacunos (1, 2 y 3) tuvieron una inversión estimada en el PRV similar, que osciló entre 171 y 203 dólares/ha para la división de los potreros y entre 133 y 197 dólares/ha para la distribución del agua (Figura 2). Sin embargo, la inversión en el predio 4 fue considerablemente mayor (970 y 320 dólares/ha, respectivamente).



Resultados productivos

La producción por kg de carne equivalente/ ha SPG en el predio 1 fue de: 115 y 178, predio 2: 165 y 142, predio 3: 532 y 621, y predio 4: 173 y 244, para los ejercicios 1 y 2, respectivamente. Se observó un aumento de la producción en el segundo ejercicio para los predios 1, 3 y 4. La ganancia diaria promedio por animal por día aumentó en el ejercicio 2 para todos los predios vacunos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Ganancia diaria promedio por animal por día (g/animal/día) de tres predios con producción vacuna en pastoreo racional Voisin (1, 2 y 3) en dos ejercicios.

Predio	1	2	3
Ejercicio 1	254	365	375
Ejercicio 2	287	373	400

Resultados económicos

El PB corriente fue de 403 y 140 (predio 1), 320 y 213 (predio 2), 1161 y 1429 (predio 3), y 628 y 990 (predio 4) dólares/ha, para los ejercicios 1 y 2, respectivamente. Se observa que los predios 1 y 2 disminuyeron su PB de un ejercicio a otro, mientras que los 3 y 4 lo aumentaron. En cambio, al calcular el PB constante (figura 4), se observa que todos los predios aumentaron su PB del primer al segundo ejercicio.

Los indicadores Ikp, IFN y MB se presentan en el cuadro 3 en valores corrientes (A) y constantes (B). El IFN fue positivo para todos los casos, tanto para valores corrientes como constantes, cosa que no ocurrió para el Ikp.

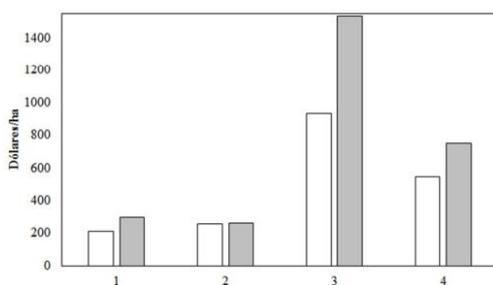


Figura 1. Producto bruto de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (ejercicio 1: blanco y ejercicio 2: gris), expresados en dólares constantes por hectárea de superficie pastoreada y usando precios promedios del ejercicio 1 para la valorización del stock animal.

Estructura de costos

Los costos por kg producido fueron similares entre los predios vacunos (entre 1.1 y 3.0 dólares/kg), mientras que fueron superiores en el predio ovino (7.9 y 9.5 dólares/kg) en ambos ejercicios. Por otro lado, los costos por ha SPG (figura 5) fueron menores en los predios 1 y 2, comparado con los predios 3 y 4.

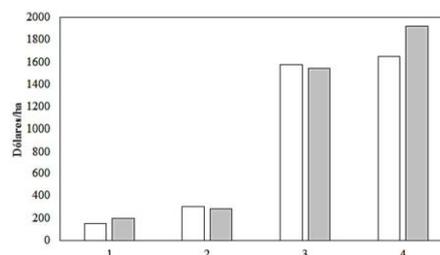


Figura 2. Costos totales por ha de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (ejercicio 1: blanco y ejercicio 2: gris).

En el cuadro 4 se presentan los costos por rubro expresados en dólares/ha SPG. El rubro salarios (incluye salario ficto familiar, pago a asalariados y aportes previsionales) representó el mayor costo para todos los predios en ambos ejercicios (entre 41 y 89 % de los costos totales). El rubro alimentos osciló entre 3 % y 11 %, y el de sanidad entre 0.1 % y 2.7. El costo de combustible osciló entre 1.0 % y 3.7 % para los predios 2, 3 y 4, mientras que para el predio 1 fue de 25 % y 20 % de los costos del ejercicio 1 y 2, respectivamente.

Los costos de servicios (incluye contratación de mano de obra y equipamiento externo, por ejemplo, esquila, fletes, inseminación, etc.) oscilaron entre 1.1 % y 4.8 % para los predios vacunos (1, 2 y 3), excepto para el ejercicio 2 del predio 1 (año en el cual se realizó sincronización de celos e inseminación artificial), que fue de 7.2 %. El predio ovino (4) tuvo costos por servicios de 6 % en ambos ejercicios. Los impuestos variaron entre 1.3 % y 9.3 % de los costos totales. La depreciación de las instalaciones del sistema PRV (incluyendo divisiones y distribución del agua) variaron entre 1.8 % y 10 %, mientras que los costos de mantenimiento fueron de entre 0.1 % y 6.7 %.

Para todos los predios, la mayor parte de los costos fueron en no efectivo (entre 51 y 80 %), fijos (entre 78 y 96 %) y directos a ganadería en PRV (entre 64 y 95 %). El salario ficto (clasificado como costo no efectivo, fijo



y directo) fue el costo individual de mayor peso relativo en todos los casos. Las horas de trabajo de los productores fueron estimadas entre 1.5 y 5 horas diarias.

El segundo costo de mayor peso relativo, tanto como costo en no efectivo como costo fijo, fue la

depreciación. El costo variable de mayor peso correspondió al rubro alimentación. Los costos clasificados en efectivo y no efectivo, fijos y variables, y directos e indirectos expresados en porcentaje de los costos totales se presentan en las figuras 7, 8 y 9, respectivamente.

Cuadro 3. Indicadores globales (Ingreso de capital propio [IKP] e Ingreso familiar neto [IFN]) y parciales (Margen Bruto [MB]) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos, expresados en dólares constantes por hectárea y valorización del stock corriente (A) o constante (B).

A								
Predio	1		2		3		4	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Ikp	254	-56	22	-71	-417	113	-1024	-929
IFN	328	24	171	90	976	1266	212	405
MB	308	1	43	-48	-211	82	-935	-813

B								
Predio	1		2		3		4	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Ikp	61	104	-42	-24	-645	-9	-1104	-1171
IFN	135	184	107	137	747	1370	131	163
MB	115	160	-21	-1	-439	185	-1015	-1056

Cuadro 4. Costos por rubro expresados en dólares/ha de superficie pastoreada de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos.

Ejercicio:	Predio 1		Predio 2		Predio 3		Predio 4	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Salarios	74	81	205	179	1392	1378	1235	1334
Alimentación	4	21	10	28	86	62	89	131
Sanidad y reproducción	3	7	6	2	5	1	45	39
Combustible	37	39	9	9	17	15	47	72
Servicios	5	14	12	14	17	21	104	115
Impuestos	14	9	19	14	20	27	43	43
Depreciación y mantenimiento	13	25	37	40	28	37	78	86
Otros	0	0	0	0	12	0	4	3

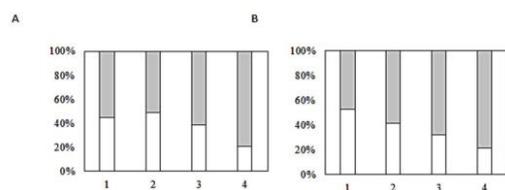


Figura 3. Costos en efectivo (blanco) y no efectivo (gris) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (A: ejercicio 1 y B ejercicio 2), expresados en porcentaje de costos totales.

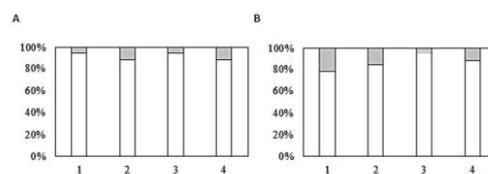


Figura 4. Costos fijos (blanco) y variables (gris) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (A: ejercicio 1 y B ejercicio 2), expresados en porcentaje de costos totales.



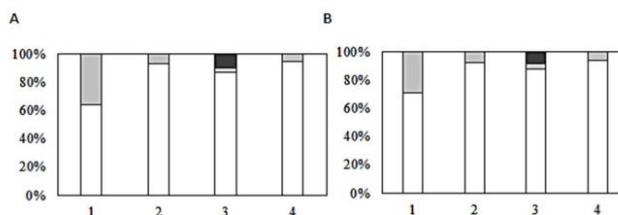


Figura 5. Costos directos a ganadería en PRV (blanco), indirectos (gris claro) y directos a nueces pecan (gris oscuro, solo para predio 3) de cuatro predios con ganadería (vacunos: 1, 2 y 3; ovinos: 4) en pastoreo racional Voisin en dos ejercicios económicos (A: ejercicio 1 y B: ejercicio 2), expresados en porcentaje de costos totales.

Discusión

Este es uno de los primeros estudios que sistematiza ingresos y costos en predios de ganadería vacuna y ovina que utilizan PRV en Uruguay. Debido a que la muestra utilizada fue muy heterogénea, las comparaciones presentadas en este trabajo se consideran descriptivas y no necesariamente representativas de la totalidad de predios ganaderos que utilizan PRV en Uruguay. Los objetivos expresados por los productores dejan en claro que la elección del sistema PRV no se trata meramente de una decisión económica, sino que en la decisión pesa el cuidado del ambiente, a través de la conservación del suelo y la conservación de la diversidad de especies vegetales, y de la disminución de la contaminación ambiental. Estos puntos están incluidos en la concepción del sistema PRV (Pinheiro Machado, 2011). La mayor inversión en divisiones observada en el predio ovino se explica por el mayor número de hilos en el alambrado que requiere la especie ovina, por lo que se requiere más alambre, postes y piques para separar los potreros. Se destaca que la inversión en los predios vacunos fue similar y, si bien se requeriría evaluar más predios, es una primera información de cuánto cuesta instalar el PRV en este tipo de establecimiento.

La producción promedio de kg de carne equivalente por ha de SPG de los establecimientos analizados en este trabajo fue superior al promedio de los predios monitoreados por el Instituto Plan Agropecuario (IPA, entidad nacional que genera información de la producción ganadera, principalmente de productores pequeños y medianos) en los períodos estudiados (Resumen del ejercicio 2018-2019 y 2019-2020). La producción por ha SPG máxima observada se obtuvo en el predio 3. Si bien este predio es el de menor superficie, también es el que tiene el mayor índice CONEAT (mayor productividad del suelo), por ende, la mejor calidad del suelo de este predio podría estar explicando, al menos en parte, los resultados observados. En el predio 4 se presentaron

interferencias no asociadas al sistema productivo en sí mismo, que pudieron haber contribuido a la menor performance de este predio. Por otro lado, los predios 1 y 2 tuvieron costos por hectárea más bajos que los predios 3 y 4. Esto se puede explicar, al menos en parte, porque estos últimos tienen mayor dotación y rendimiento por ha, aunque no se puede descartar el posible impacto negativo de la menor escala de ambos predios comparados con los primeros al estimar esta variable. Se debe tener en cuenta, además, que el predio 4 tiene elevados costos de depreciación del sistema PRV, por ser un predio ovino con instalaciones fijas, lo que implica más materiales para las divisiones si se lo compara con los predios vacunos, o quizás con predios ovinos que utilicen instalaciones móviles, aunque no hay información disponible al respecto.

La estructura de costos fue similar entre predios, y se mantuvo relativamente estable de un ejercicio a otro. El rubro salarios representó el mayor costo para todos los establecimientos en ambos ejercicios. En cuanto al resto de los costos, estos fueron bajos, lo que concuerda con la bibliografía (Murphy *et al.*, 1986; Díaz *et al.*, 2003; Bortoli *et al.*, 2005; Sorio, 2010). La mayoría de los costos en el presente trabajo fueron fijos y directos, coincidiendo con lo reportado para los predios monitoreados por el IPA (Presentación Resultados de Carpetas Verdes. Ejercicio 2018-2019). Otros estudios en la región, estiman que los costos fijos suelen representar alrededor del 50 % de los costos totales [predios familiares lecheros en México: 50 % (Jiménez Jiménez *et al.*, 2014); predio de bovino de doble propósito: 52 % (Ruiz Guevara *et al.*, 2008)]. Este porcentaje es inferior cuando el rubro alimentación tiene mayor peso (predios de bovinos doble propósito en Venezuela: 42 %; Bolívar *et al.*, 2016). La mayor incidencia de los costos fijos en los costos totales de los predios estudiados podría estar asociados al costo de la mano de obra familiar. En efecto, el rubro salarios fue el costo más elevado para los predios estudiados y, dentro de este, el salario ficto familiar fue el de mayor



peso. El salario ficto familiar, como su nombre indica, es un costo ficticio (forma parte de los ingresos percibidos por la familia). Existen diferentes criterios respecto a cómo cuantificar el costo de la mano de obra familiar: Jiménez Jiménez *et al.* (2014) consideraron el costo de oportunidad de la mano de obra familiar en predios lecheros de Michoacán (México) de acuerdo a las alternativas laborales a las que pudiera acceder la familia. En este trabajo, el costo de oportunidad representó en promedio el 37.4 % de los costos y fue el segundo costo que explicó la variación de la ganancia económica, siendo el primero la alimentación. También en Uruguay y utilizando un criterio similar al del presente trabajo, Colnago y Dogliotti (2020) utilizaron un costo de oportunidad de 4 USD/h para todos los predios de su estudio, basado en el costo de contratar trabajadores temporales, y estimaron que 10 de los 14 predios analizados no llegaron a cubrir el costo de oportunidad. Por otra parte, Rossler *et al.* (2020) no incluyeron el rubro mano de obra familiar en los gastos de su estudio en Santa Fe (Argentina), pues lo consideraron parte del beneficio neto. Otras metodologías, como el Método de valor agregado, no asignan un monto específico a la mano de obra familiar y ponen en discusión la renta obtenida (el ingreso neto) en función del presupuesto familiar o de

las aspiraciones de cada productor (García Filho, 2011). Valorizar la mano de obra familiar es un punto clave para los análisis económicos de los sistemas de producción familiar, y un desafío debido a la multiplicidad de criterios que se pueden utilizar y la posibilidad de la sobre o subestimación.

En cuanto a los indicadores económicos estudiados, mientras que para el Ikp hubo múltiples valores negativos, el IFN resultó favorable en todos los casos, lo que refuerza la idea del gran peso del salario ficto familiar. Si bien los sistemas con Ikp negativo pueden presentar complicaciones en el largo plazo, el IFN muestra que el sistema contribuye a la reproducción familiar. Las diferencias entre ambos indicadores demuestran la importancia de calcular el IFN cuando se analiza la estructura de costos de predios familiares. Otros factores que influyeron fuertemente en los indicadores económicos fueron la valorización del ganado (utilizado para calcular los valores de stock inicial y final) y la cotización del dólar, que se hace notoria al comparar los indicadores calculados en precios corrientes y constantes. Este tipo de establecimientos tiene la mayor parte de sus ingresos en dólares, mientras que los costos son principalmente en pesos uruguayos.

Conclusiones

La dotación, el rendimiento y el PB fueron superiores al promedio de predios estudiados en el mismo período en el país. La escala de los predios, la inversión en el PRV y la mano de obra tienen un impacto importante en los resultados económicos. La mayoría de los costos fueron fijos, directos y en no efectivo, siendo el salario ficto familiar el costo de mayor peso en todos los predios. El criterio utilizado para valorizar la mano de obra tuvo un gran impacto en la evaluación económica. Se destaca la influencia de

la valorización del stock y de la cotización del dólar al estimar indicadores económicos. La muestra estudiada fue heterogénea, por lo que resulta importante relevar más predios a futuro para mejorar la caracterización económica-productiva, así como la inversión en PRV estimada en este trabajo. La información recabada permite concluir que a los productores que utilizan el sistema PRV los motiva, no solo el interés económico, sino otros aspectos tales como la conservación ambiental.

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener conflictos de interés

Literatura Citada

- Álvarez, J., y O. Falcao. 2011. Manual de gestión de empresas agropecuarias. Departamento de Publicaciones de la Facultad de Agronomía, UdelaR, Uruguay. ISBN 978-9974-0-0561-7
- Almeida, L. B., F. M. G. de Costa, L. da Panchoca, G. Gomes, de A., Robazza y W. da S. 2011. Managerial controls practices by milk producers in the West of Santa Catarina that adopt the method of Rational Grazing Voisin (PRV). *Custos e @gronegocio*, 7(1):120-139. <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v7/managerial%20control.pdf>
- Barnard, C. S. y J. S. Nix. 1984. Planeamiento y control agropecuario. Ateneo, Argentina. ISBN 950-02-3022-4
- Benítez, G., R. García, S. Monteverde y R. González. 2018. Integrando ovinos al manejo agroecológico en la Región Metropolitana uruguaya: resultados productivos y económicos en Ecogranja Svealand. *Proceedings de Anais do VI CLAA, X CBA e V SEM. Cadernos de Agroecologia*, 13(1):7-16. <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/1753>



- Berretta, E. J., R. San Julián, F. Montossi y J. A. Silva. 1994. Pasturas naturales y producción ovina en la región de basalto en Uruguay. 4º Congreso Mundial del Merino, Uruguay. 259-278.
- Beretta, E. J. 2005. Algunas consideraciones sobre el Pastoreo Racional Voisin. Proceedings de Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural, INIA, 151:115-123.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630021107142110.pdf>
- Berton, C. T. e E. M. Richter. 2011. Referências agroecológicas pastoreio racional Voisin (PRV). CPRA, SEAB, Governo do Estado do Paraná, Curitiba. 1-24.
<https://www.bibliotecaagpatea.org.br/zootecnia/forragens/livros/REFERENCIAS%20AGROECOLOGICAS%20PASTOREIO%20RACIONAL%20VOISIN.pdf>
- Bolívar, H., J. Trocóniz y A. Ruiz. 2016. Diseño y evaluación de una estructura de costos de la ganadería bovina en el estado Barinas, Venezuela. *Saber*, 28(4):761-774.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622016000400011&lng=es&tng=es
- Bortoli, A., A. L. F. Schmitt y A. A. Cazella. 2005. Viabilização de unidades familiares rurais a partir de produção animal sob Pastoreio Voisin. *Revista Eletrônica de Extensão*, 2(3):3-11.
<https://www.sumarios.org/artigo/viabiliza%20A7%20A30-de-unidades-familiares-rurais-partir-de-produ%20A7%20A30-animal-sob-pastoreio-voisin>
- Colnago, P. and S. Dogliotti. 2020. Introducing labour productivity analysis in a co-innovation process to improve sustainability in mixed family farming. *Agricultural Systems*, Elsevier, 177:102732.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102732>
- Comisión Nacional de Estudio Agronómico de la Tierra (CONEAT). 1979. Grupos de suelos CONEAT. Índice de productividad. Comisión Nacional de Estudio Agronómico de la Tierra Ministerio de Agricultura y Pesca. CONEAT-MAP. Uruguay.
- Consejo de Salarios, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Uruguay. Ajustes de 2018, 2019 y 2020 para Ganadería, Agricultura y actividades conexas.
<https://www.gub.uy/ministerio-trabajo-seguridad-social/tematica/22-ganaderia-agricultura-actividades-conexas-o>
- Díaz Viladevall, M., J. Ray Ramírez, D. Pérez Salas, D. Benítez Jiménez y J. Guerra Sánchez. 2003. Evaluación económica de dos sistemas de pastoreo para la producción de leche con bajos insumos en suelo vertisol. *Revista de Producción Animal*, 15(1):63-65.
<https://core.ac.uk/download/pdf/268092837.pdf>
- Farley, J., A. Schmitt, J. Alvez y N. Ribeiro de Freitas, Jr. 2012. How valuing nature can transform agriculture. *Solutions Journal*, 2(6):64-73.
- Food and Agriculture Association (FAO), Oficina regional para América Latina y el Caribe. 2021. Producción pecuaria en América Latina y el Caribe. Acceso 15.10.21
<http://www.fao.org/americas/prioridades/produccion-pecuaria/es/>
- García Filho, D. P. 2011. Convênio INCRA/FAO: Análise e diagnóstico de sistemas agrários: Guia metodológico.
<https://www.bibliotecaagpatea.org.br/administracao/legislacao/livros/GUIA%20METODOLOGICO%20ANALISE%20DIAGNOSTICO%20DE%20SISTEMAS%20AGRIARIOS.pdf>
- García, R., S. Monteverde, N. Bajsa, H. Bértola, y G. Salvo. 2018. Hacia el desarrollo de la producción ovina agroecológica en la Región Metropolitana uruguaya. Una experiencia de articulación y construcción de conocimiento agroecológico local. Proceedings de Anais do VI CLAA, X CBA e V SEM. *Cadernos de Agroecologia*. 13(1):9-16.
<http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/1972>
- Garibotto Carton, G. 2016. El valor de los productores en la investigación participativa sobre estrategias de pastoreo en Uruguay. Proceedings del VII Congreso Nacional de Manejo de Pastizales Naturales, X Encuentro de Ganaderos del Pastizal del Cono Sur. 27-30.
https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20naturales/231-Resumenes-VII-Congreso.pdf#page=27
- Instituto Plan Agropecuario (IPA) Presentación Resultados de Carpetas Verdes. Ejercicio 2018-2019. Acceso 15.10.21
<https://planagropecuario.org.uy/web/monitoreo-de-empresas-ganaderas.html>
- Instituto Plan Agropecuario (IPA) Resumen del ejercicio 2018-2019 y 2019-2020. Acceso 15.10.21
<https://planagropecuario.org.uy/web/monitoreo-de-empresas-ganaderas.html>
- Jiménez Jiménez, R.A., V. Espinosa Ortiz, y D. M. Soler Fonseca. 2014. El costo de oportunidad de la mano de obra familiar en la economía de la producción lechera de Michoacán, México. *Revista de*



- Investigación Agraria y Ambiental. 5(1):47-56.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5344972.pdf>
- Lenzi, A., L. C. Pinheiro Machado, F. L. Ferreria de Quadros, L. C. Pinheiro Machado Filho y L. Martins Barbero, C. Cruc. Roma. 2009. Desempenho animal e produção de forragem sob pastejo contínuo ou pastoreio racional Voisin. *Revista Brasileira De Agroecologia*, 4(3).
<https://revistas.aba-agroecologia.org.br/rbagroecologia/article/view/7566>
- Lenzi, A. 2012. Fundamentos do Pastoreio Racional Voisin. *Rev. Bras. de Agroecologia*, 7(1):82-94.
<https://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/10073>
- Mora, V. y F. Pezzani. 2018. Relevamiento de sistemas de pastoreo no tradicional en Uruguay. *Proceedings del VI Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal (AUPA)*. 165.
<http://www.inia.org.uy/digital/bitstream/item/9008/1/AUPA-2018-COMPLETO1.pdf>
- Murphy, W. M., J. R. Rice y D. T. Dugdale. 1986. Dairy farm feeding and income effects of using Voisin grazing management of permanent pastures. *American Journal of Alternative Agriculture*. 1(4):147-152.
<https://doi.org/10.1017/S088918930001211>
- Ojeda-Falcon, A. D., L. C. Pinheiro Machado, L.C. Pinheiro Machado Filho, O. Coré y N. Echarri. 2014. 18 años de pastoreo racional Voisin al sur de la provincia de Santa Fé, República de Argentina. *Proceedings del II Encontro Pan-americano Sobre Manejo Agroecológico de Pastagens. Cadernos de Agroecologia*. 9(2):1-5.
<https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/download/15838/10014>
- Piñeiro, D. 2004. El capital social en la producción familiar. *Proceedings de Ciclo de conferencias "Aportes para el futuro de la granja" 40 años de INIA Las Brujas*. 1-11.
http://www.inia.org.uy/online/files/contenidos/link_18052006023715.pdf
- Pinheiro Machado, L.C. 2011. *Patoreio Racional Voisin. Tecnología agroecológica para el 3 milenio*. Editorial Hemisferio Sur SA, Argentina. ISBN 950-504-576-X
- Rosler, N., J. M. Zabala, M. F. Modesto, S. López Cuesta y M. A. Forni. 2020. Diagnóstico técnico-económico y propuesta a nivel predial para dos productores ganaderos familiares del territorio norte de Santa Fe, Argentina. *FAVE - Ciencias Agrarias*, 20(1):347-360.
<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/FAVEAgrarias/article/view/10275/13628>
- Ruiz Guevara, C., L. A. García Hernández, C. H. Ávila Bello y L. Brunett Pérez. 2008. Sustentabilidad financiera: el caso de una empresa ganadera de bovino de doble propósito. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 22:503-515.
<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US20162060989>
- Sorio, H. 2010. Technical and economic results of the application of Voisin grazing with buffalo on two farms from Venezuela. *Revista Veterinaria*, 21(1):38-52.
- Tewolde, A., E. Guitierrez y F. Lucero, F. La producción animal en América Latina y el Caribe: limitantes, oportunidades y perspectivas. 2007. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 15:53-57.
https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/2715
- Voisin, A. 1957. *Productivité de l'herbe*, France Agricole, Francia. ISBN 2855575737
- Wendling, A. B. e C. E. D. C. Ribas. 2013. Índice de conformidade do pastoreio racional Voisin (IC-PRV). *Revista Brasileira De Agroecologia*, 8(3):26-38.
<https://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/12904>



15. ANEXO III – Poster modelo



MODELADO MULTIAGENTE DE LA GESTIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL PASTOREO: COMPARACIÓN DEL PASTOREO ROTATIVO VERSUS PASTOREO CONTINUO



Francisco Dieguez^{1*}, María Belén López-Pérez², Gustavo Benítez², Emiliano Guedes²

¹ Departamento de producción animal y salud de los sistemas productivos, Facultad de Veterinaria, Ruta 1 km 42.500, Libertad, San José.

² Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Veterinaria, Lasplacas 1620, Montevideo

*fd_uy@yahoo.com

Introducción

La gestión del pastoreo es determinante el resultado de los sistemas de producción, donde la productividad forrajera, la carga animal (incluyendo categoría y peso), y la gestión espacio-temporal del pastoreo son aspectos centrales. Por otra parte, el modelado multiagente (ABM) tiene la ventaja de la espacialización del problema, donde la interacción entre agentes puede ser representada y evaluada dinámicamente (Railsback & Grimm, 2019). Este trabajo presenta una primera implementación de un modelo con bases ecológicas en una plataforma ABM, desarrollado en forma participativa con un grupo de productores.

Materiales y Métodos

Modelado participativo con criadores bovinos, ovinos y mixtos de Colonia y Canelones), quienes aplican pastoreo rotativo. Se definieron las pautas de estructura y criterios de funcionamiento del sistema: la pastura (campo natural) debe crecer en forma logística (Fig. 1). El modelo es considerado en una primera instancia como "genérico" representando el crecimiento del forraje en forma logística (K= 4000 kg MS/ha/año). Para la conversión a cm/ha se utiliza una constante de 300 kg MS/cm/ha (Jaurena et al., 2018).

- ✓ Implementación modelo "presa-predador" en plataforma ABM en NetLogo (Wilensky, 1999) versión 6.2.
- ✓ Se generaron cuatro escenarios combinando:
 - fecha de inicio: 1ro de Jul y 1ro de Set.
 - alturas de forraje iniciales: 4 y 6 cm/ha
- ✓ Variación del número de animales por lote: entre 20 y 65 animales.
- ✓ Período de simulación: 180 días.
- ✓ 2 tratamientos de gestión del pastoreo: **CONT.** continuo y **ROT.** rotativo (Fig. 2)

Modelo dinámico "presa-predador" (Dieguez y Fort, 2017) implementado en plataforma ABM

$$\frac{dx}{dt} = rx \left(1 - \frac{x}{K(t)}\right) - c \frac{x^2}{H^2 + x^2} y^{1/4} \cdot S$$

$$\frac{dy}{dt} = \beta \left[c \frac{x^2}{H^2 + x^2} - I_m \right] y^{3/4}$$

Donde:
 $\frac{dx}{dt}$: ganancia diaria de peso (kg PV/día)
 $\frac{dy}{dt}$: disponibilidad de forraje (kg MS/ha/día)

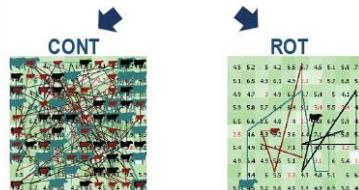


Fig. 1. Fotografías de las actividades de campo

- 🐄 Lote 1: PV inicial 200 ± 5 kg/animal
- 🐑 Lote 2: PV inicial 250 ± 5 kg/animal
- 🐑 Lote 3: PV inicial 300 ± 5 kg/animal

Indicadores de productividad:

ganancia por hectárea (GPH; kg PV/ha) y **ganancia individual (GI, kg PV/animal)** promedio de los tres lotes

Fig. 2. Captura de pantalla de plataforma NetLogo con ambos tratamientos

Resultados y discusión

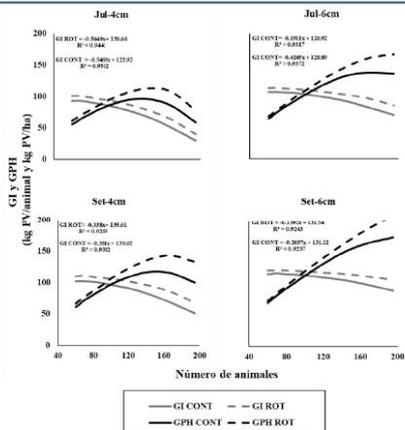
La gestión del pastoreo en términos de comparación de pastoreo continuo versus rotativo es controversial (Briske et al. 2008).

Los valores absolutos obtenidos en GPI y GPH presentan **diferencias** entre tratamientos, **explicadas solo por la gestión del pastoreo** como variable en el modelo.

Existió un incremento promedio de 11% en la GPH cuando el manejo del pastoreo es rotativo en todos los escenarios (alcanzando 21% a su favor en GPH_{máx}).

La GI desciende al aumentar el número de animales. Las pendientes de las rectas de regresión aumentan en los escenarios de baja altura inicial del pasto y ciclo de pastoreo comenzando el 1ro de Julio.

En todos los casos, **la altura inicial es la principal determinante de los resultados biofísicos** simulados en todos los escenarios y tratamientos.



Conclusión

El presente trabajo demuestra la posibilidad de implementación de un sistema complejo utilizando el concepto ABM. El pastoreo rotativo, aplicado sobre el mismo modelo biofísico, incrementa la productividad secundaria del sistema. Resta el desafío de incorporar al modelo variables socio-económicas y la escala del sistema, entre otras. No se descarta a priori combinaciones de subsistemas de pastoreo continuo y rotativo, que optimicen la cosecha directa de forraje maximizando su productividad secundaria del sistema mediante tecnologías de procesos.

16. ANEXO IV – Cuestionario del taller III

Los números (1 al 5) representan a cada productor. Por lo tanto, cuando el espacio al lado de un número se deja vacío, es porque ese productor no contestó esa pregunta.

¿El modelo refleja mínimamente un PRV?

1. Creo que si
2. Si
3. Si. En lo posible agregar variables, de las más importantes a las menos importantes.
4. Si, como todo se puede mejorar.
5. Si

¿Los resultados obtenidos concuerdan con lo esperable?

1. Ganancias diarias. Crecimiento pasto por estación.
2. –
3. Si. Con más variables importantes se aproximaría más a lo real.
4. Hay cosas para ajustar y es muy dinámica la naturaleza.
5. Si

¿La forma de visualizar le ayuda a entender los resultados?

1. Si.
2. Se visualizan correctamente.
3. Facilita a realizar una evaluación del sistema al golpe de vista, teniendo en cuenta muchos datos.
4. Si, es correcta
5. Si

¿Nos recomendaría seguir trabajando con este tipo de herramientas en investigación en modelado del PRV? ¿Por qué?

1. Si. Aclara conceptos.
2. Si. Se necesitan herramientas tecnológicas que atraigan nuevas generaciones.
3. Muy interesante para monitorear el funcionamiento del establecimiento.
4. Si, todo lo que ayuda en el tema de decisiones es bienvenido
5. Si, es ir afinando.

Si tuvieras una herramienta igual pero en el celular, ¿la usarías? ¿Para qué?

1. Posiblemente. Para planificar para adelante
2. Si. Calcular carga. Ganancia de peso estimada.
3. Si, luego de adquirir el hábito.
4. Para trabajar en el día a día
5. Hoy no

Mencione 1 o 2 aspectos positivos y negativos del modelo realizado

1. Poder proyectar carga
2. Positivo: poder simular mil posibilidades cambiando variables.
3. Positivos: analiza muchos datos en segundos, facilita toma de decisiones.
Negativos: crear el hábito a nivel de los productores.
4. Positiva la visualización. Negativo es demasiado simplificado.
5. Es muy técnico pero hay que adaptarlo al predio.

¿Qué le agregaría al modelo?

1. Aparte de la altura kg MS
2. Posibilidad de diferir pastura para invierno
3. Más información real por potrero o parcela. Diferenciar estaciones.
4. –
5. Pasturas de mejoramiento

¿Qué preguntas concretas quisiera que conteste la próxima versión del modelo?

1. –
2. –
3. –
4. Debería tomar en cuenta más datos de la realidad y que el tiempo sea más amplio, no por estación ni por año. Cuanto más tiempo mejor. Carga óptima hoy y dentro de seis meses.
5. –