

Desarrollo de un programa de mejoramiento genético cooperativo de
núcleos abiertos para bovinos de carne.

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,
Área Producción Animal.*

Jose Maria Tessi

Ingeniero Agrónomo - Universidad Nacional de Córdoba - 2010

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - EEA La Rioja



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Facultad de Ciencias Veterinarias
Universidad de Buenos Aires

© Derechos de autor

José María Tessi

2020

COMITÉ CONSEJERO

Director de Tesis

Sebastián Munilla Leguizamón

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Co-director de Tesis

Daniel Omar Maizon

Médico Veterinario (Universidad de Buenos Aires)

Magister Scientiae en Biometría (Universidad de Buenos Aires)

Doctor of Philosophy (PhD, Cornell University, USA)

JURADO DE TESIS

JURADO

Nombre/s y apellido/s

Título de grado (Universidad)

Título de posgrado (Universidad)

JURADO

Nombre/s y apellido/s

Título de grado (Universidad)

Título de posgrado (Universidad)

JURADO

Nombre/s y apellido/s

Título de grado (Universidad)

Título de posgrado (Universidad)

Fecha de defensa de la tesis: DD de MES de YYYY

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Raúl y Nani por todo el amor que me dieron.

A mi familia Eugenia, Ignacio y Helena por el aguante y apoyo brindado en todo este proceso.

A mi hermano Tomas, a mi cuñada Lucia y Pía que desde la panza se aprendió mi tesis e hizo sus aportes.

A Sebastián “Sebas” mi director y amigo por la infinita paciencia y por animarse a ser mi director.

A Daniel mi Codirector por los conocimientos aportados desde que llegue a INTA.

A Patricia y Ana, secretarias de la carrera por su predisposición a ayudar constantemente.

A mis tíos Toty y Changui por el hospedaje durante mis viajes.

A mis compañeros de INTA por colaborar en mis trabajos diarios durante mi ausencia.

A Pedro Namur, Félix Romero, Omar Andrada, José Sánchez, Santos Sánchez y Don Aguirre por enseñarme lo que no sale en los libros.

A Felipe Díaz por las gestiones administrativas.

A los revisores.....

A la Universidad pública, a la EPG Alberto Soriano y a las Facultades de Agronomía y Veterinaria de la UBA.

A Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria INTA, por sus programas de perfeccionamiento profesional.

A un Estado que estuvo presente y apostó al desarrollo de las personas y de sus instituciones.

A las vacas Criollas.

A La Rioja y sus Llanos por darme un hogar.

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.



José María Tessi

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	III
DECLARACIÓN	IV
INDICE GENERAL	V
INDICE DE CUADROS.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
ABREVIATURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Problema en estudio, antecedentes y marco teórico	15
1.1.1. Programas de mejoramiento genético tradicionales.....	16
1.1.2. Programas de mejoramiento genético cooperativos	16
1.1.3. Programas de mejoramiento en la región ganadera de La Rioja	18
1.2. Justificación	18
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivos específicos:	19
2. MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1. Descripción del programa cooperativo de núcleos abiertos.....	20
2.1.1. Estructura de los programas de mejoramiento genético tradicionales.....	20
2.1.2. Estructura de un programa de núcleos abiertos	21
2.1.3. Funcionamiento del programa	23
2.2. Caracterización del área en estudio	23
2.2.1. Descripción y situación actual de los sistemas de producción	24
2.3. Definición del objetivo de selección.....	25
2.3.1. Caracteres a seleccionar	25
2.3.2. Valores económicos de los caracteres a seleccionar	26
2.4. Respuesta a la selección y resultados del programa	26
3. RESULTADOS.....	28
3.1. Ecuación de beneficio y valores económicos	28
3.1.1. Especificación del sistema de producción y comercialización característico de los miembros de la cooperativa de mejora.....	28

3.1.2. Identificación de las principales fuentes de ingresos y egresos del sistema.	30
3.1.3. Ecuación de beneficio.....	34
3.1.4. Valores económicos de los caracteres que integran el índice.....	36
3.1.5. Índice económico de selección	40
3.2. Respuesta a la selección y resultados del programa	41
3.2.1. La cooperativa en marcha.....	41
3.2.2. Respuesta a la selección.....	44
Intensidad de selección.....	44
Variabilidad genética	45
Exactitud.....	45
Intervalo generacional	45
Respuesta a la selección anual	47
4. DISCUSIÓN	49
5. CONCLUSIÓN.....	53
6. BIBLIOGRAFÍA	54
7. ANEXO.....	59
A.1. Determinación de casos de partos con ayuda o distócicos.....	59

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Diferencias entre programas de mejoramiento genético animal tradicionales y cooperativos.....	17
Cuadro 2. Superficie de establecimientos por cooperantes.....	29
Cuadro 3. Estructura de edades, porcentajes de preñez, descartes y pérdidas por edades.....	30
Cuadro 4. Pesos de distintas categorías e índices de procreo.....	30
Cuadro 5. Principales fuentes de ingresos e indicadores económicos.....	31
Cuadro 6. Principales fuentes de egresos de la categoría terneros.....	32
Cuadro 7. Principales fuentes de egresos de la categoría vacas.....	33
Cuadro 8. Resumen de principales indicadores económicos.....	34
Cuadro 9. Costos de alimentación.....	34
Cuadro 10. Valores económicos de los caracteres que integran el índice.....	40
Cuadro 11. Superficies y número de vientres de cada cooperante.....	42
Cuadro 12. Estadísticos descriptivos para peso al destete.....	45
Cuadro 13. Estructura etaria en los rodeos de los cooperantes.....	46
Cuadro 14. Proyección del progreso productivo esperado de la implementación del programa de núcleos abiertos durante una generación.....	47
Cuadro 15. Costos de sanidad y mano de obra por cooperante.....	48
Cuadro 16. Evolución del beneficio neto por venta de terneros (en \$/vientres) y margen bruto (\$/año) segmentado por cooperante.....	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de organización sobre el que se basan los programas tradicionales de mejoramiento genético animal en bovinos de carne.....	21
Figura 2. Estructura en forma de red propuesta para un programa de mejoramiento genético animal de tipo cooperativo de núcleo abierto. F: facilitador; pg: productor general; coop: miembros cooperantes.....	23
Figura 3. Estructura propuesta para la cooperativa de mejoramiento genético.....	41
Figura 4. Secuencia de protocolo de IATF + IATF.....	43
Figura 5. Secuencia de eventos y relaciones entre el rodeo general y el núcleo.....	44
Figura 6. Secuencia de eventos y edades hasta el ingreso definitivo de los toros selectos al banco de semen.....	46

ABREVIATURAS

\$_{kt}	precio kilo ternero
\$_{kv}	precio kilo vaca
%_{d1ser}	porcentaje de descarte de vacas al primer servicio
%_{Dtt}	porcentaje de destete
%_{dvref}	porcentaje de descarte de vacas refugo
%_{reph}	porcentaje de reposición de hembras
%_{repm}	porcentaje de reposición machos
B_{Kt}	beneficio por los kilos de ternero vendido
BLUP	acrónimo de <i>best linear unbiased prediction</i>
C1	costo comercialización por kilo
C2	costo atención de parto con dificultad por kilo
C3	costo sanidad de terneros por vientre
C4	costo mano de obra de terneros por vientre
C5	costo comercialización por kilo
C6	costo de alimentación por kilo
C7	costo sanidad por vientre
C8	costo mano de obra por vientre
cab	cabezas
COOP	miembros cooperantes
CREA	consorcio regional de experimentación agrícola
CUT	cría último ternero
DEPs	diferencias esperadas de progenie
EAPs	establecimientos agropecuarios
EEAs	estaciones experimentales

EGD	expresión genética descontada
EV	equivalente vaca
F	facilitador
Has	hectáreas
INTA	instituto nacional de tecnología agropecuaria
I+D	investigación y desarrollo
IATF	inseminación a tiempo fijo
MGA	mejoramiento genético animal
PD	peso destete
PG	productor general
PN	peso al nacimiento
PP	prueba de progenie
PV	peso vivo
PVA	peso de vaca adulta
RG	rodeo general
SENASA	servicio nacional de sanidad y calidad agroalimentaria
SI	situación inicial
UCRI	unidad de cría

RESUMEN

Una estrategia para incrementar la productividad en sistemas de producción ganadera de pequeña escala y bajos insumos es la implementación de programas de mejoramiento genético. A lo largo del mundo, se han desarrollado programas de tipo cooperativo orientados a pequeños rumiantes bajo sistemas de producción minifundista. Este tipo de programas cooperativos pueden resultar también atractivos para productores de ganado bovino que se hallan entre el minifundio de subsistencia y la empresa ganadera tradicional. En esta tesis se diseñó un programa de mejoramiento genético cooperativo de núcleos abiertos aplicable a este tipo de productores. El diseño propuesto involucró una estructura en red con tres nodos: un nodo cooperador, formado por los productores de la cooperativa, un nodo facilitador, integrado por técnicos de apoyo, y el núcleo propiamente dicho. Los cooperantes ceden terneros al núcleo al momento del destete y, una vez allí, se crían hasta su madurez sexual para luego realizar una prueba de progenie. Los toritos más destacados ingresarían a un banco de semen que gestiona el núcleo y que se utilizaría para inseminar los rodeos de los cooperantes. Para ilustrar la utilidad del programa, se lo desarrolló en detalle para el caso de los pequeños productores ganaderos de la región de Los Llanos, provincia de La Rioja, Argentina. Luego de modelizado el sistema de producción de cría típico de la región, se identificaron los caracteres económicamente más relevantes y con ellos se construyó un índice económico de selección. Luego, se calculó la respuesta a la selección que generaría el programa. Según estos cálculos y proyectando el beneficio económico a cinco años, se estimó que el programa reportaría un incremento del 10,6% en los márgenes brutos de los productores, producto de un cambio significativo en los pesos al destete promedio por selección genética.

PALABRAS CLAVE: Ganadería, Recursos zoogenéticos, Sistemas comunitarios, La Rioja, Argentina.

ABSTRACT

Animal breeding programs are one of the best known strategies to increase productivity in low-input, smallholder livestock production systems. Cooperative programs for small ruminants have been developed all around the world for these systems. This type of cooperative programs is also potentially attractive to beef cattle producers in between a smallholder farm and a traditional livestock farm. In this thesis, a cooperative open nucleus animal breeding program was designed for this type of producer. The proposed design involved a network structure with three nodes: (i) a cooperating node, which includes the producers of the cooperative; (ii) a facilitating node that provides technical support, and (iii) the nucleus tier itself. Cooperators transfer calves to the nucleus at weaning and, once there, they are reared until their sexual maturity and then subjected to progeny testing. Outstanding bulls would be ultimately selected to form part of a semen bank, managed by the nucleus and used to breed back the cooperator's herds. To illustrate its utility, the program was developed in detail for the case of small livestock producers in the Los Llanos region, La Rioja province, Argentina. After modeling the typical production system of the region, economically relevant traits were identified and a selection index was developed. Finally, the response to selection was estimated. Based on these calculations and projecting the economic benefit over five years, it was estimated that the program would report a 10.6% increase in the producer's gross margins, as a result of a significant increase in the average weaning weight due to genetic selection.

KEY WORDS: Bovine livestock, Animal genetic resources, Community systems, La Rioja, Argentina

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema en estudio, antecedentes y marco teórico

Los sistemas de producción ganadera de pequeña escala y bajos insumos se caracterizan por estar radicados en regiones de menor potencial productivo y alejados de los grandes mercados de comercialización, condiciones que dificultan la introducción de sus productos al comercio formal, la adquisición de insumos y el acceso al financiamiento para la producción (Olivier et al., 2002). En estos sistemas productivos los establecimientos suelen tener superficies relativamente reducidas, con escasa infraestructura y con baja adopción de tecnologías, si bien su producción genera todo o gran parte de los ingresos necesarios para cubrir los gastos del grupo familiar. En muchos de estos sistemas el nivel de educación formal de sus integrantes es escaso y la organización, tanto dentro del sistema como por fuera de él, es baja (Olivier et al., 2002). Si bien son sistemas que se encuentran por debajo de su potencial productivo, introducir alternativas insumo-dependientes para aumentar la productividad no es una opción por la alta aversión al riesgo de los productores (Kosgey et al., 2006).

Una de las estrategias más importantes y de bajo costo para aumentar la productividad en sistemas de producción de esta naturaleza es la implementación de programas de mejoramiento genético animal (MGA). Estos programas constituyen una herramienta apropiada para el mayor aprovechamiento de los recursos zoogenéticos y, en consecuencia, para el desarrollo económico y social de la región (FAO, 2010). El objetivo de un programa de mejoramiento genético es lograr un incremento en la productividad y una mayor estabilidad en la producción, de modo tal que aumenten los ingresos y disminuyan los riesgos de producción. Para lograr esta mayor estabilidad y productividad es necesario integrar en el programa de mejoramiento genético no sólo la gestión de los recursos genéticos locales, sino también la salud y la reproducción animal, la gestión de los recursos forrajeros y fundamentalmente, comprender el contexto en el que se desarrolla el sistema de producción (Olivier et al., 2002).

Al momento de planificar la implementación de un programa de mejoramiento genético se deben considerar tres elementos básicos: el entorno, el sistema de producción y los objetivos de selección (Mueller et al., 2015). Específicamente, los objetivos de selección deben estar en sintonía con las características del sistema de producción de la región en estudio y responder a los objetivos y necesidades de los productores comerciales. En términos generales, los objetivos de selección deben expresarse en función de los beneficios económicos que producirá el programa de mejoramiento genético (Rebelo Da Fonseca et al., 2000). Por este motivo, es importante definir un número no muy extenso de caracteres o rasgos que no sólo tengan un impacto importante en términos económicos, sino que también sean fáciles de medir y suficientemente heredables (Sölkner et al., 1998). Asimismo, y bajo el marco conceptual del desarrollo sustentable, los programas de mejoramiento genético deben ser no sólo económicamente viables, sino también socialmente equitativos y ambientalmente sostenibles en el tiempo.

En síntesis, un programa de mejoramiento genético para sistemas de producción de pequeña escala y bajos insumos debe contemplar aspectos económicos, ambientales y culturales de la región y de sus habitantes para garantizar su sustentabilidad.

1.1.1. Programas de mejoramiento genético tradicionales

En regiones desarrolladas, los rodeos vacunos se organizan en una estructura de tipo piramidal con estratos bien definidos respecto a su nivel genético. El vértice de la pirámide representa al núcleo de la población y está integrado por los rodeos de elite, o cabañas, responsables del mejoramiento genético. Las cabañas trabajan en su mayoría con animales de una raza en particular e integran asociaciones de criadores, cuya principal función es resguardar la identidad racial, promover el mejoramiento y dar difusión a la raza. Para cumplir su función, las asociaciones de criadores llevan adelante programas de mejoramiento genético a gran escala basados en la teoría de modelos mixtos y predicción BLUP (Henderson, 1984). Estos programas consisten en una evaluación de desempeño de un gran número de animales con el fin de compararlos objetivamente (cf. Bourdon, 2000, capítulo 12). Las cabañas toman mediciones de diferentes atributos de importancia económica que luego son analizados en forma conjunta. De este análisis se obtienen estimaciones del mérito genético de los individuos (y de toda su genealogía) para cada uno de los caracteres evaluados. Estas estimaciones se vuelcan, finalmente, en catálogos de reproductores que serán utilizados por los criadores de las mismas cabañas y los productores comerciales para tomar sus decisiones de selección.

En estos casos, el éxito del programa de mejoramiento genético se sostiene, fundamentalmente, en un alto nivel de organización y en la aplicación de tecnología reproductiva de punta, desde el uso masivo de la inseminación artificial hasta los programas de transferencia embrionaria. La organización de los criadores, naturalmente dispersos territorialmente, facilita el desarrollo de sistemas masivos de colección de registros que luego constituyen la base de la evaluación de reproductores. Las tecnologías reproductivas, luego, cumplen la función de difundir los reproductores selectos, al tiempo que tejen lazos que conectan los diferentes rodeos. Estos programas de mejoramiento genético, que denominaremos “tradicionales” en el contexto de este trabajo, han sido diseñados para países o regiones dentro de un país desarrollado y como consecuencia de ello, su implementación exitosa en regiones en vías de desarrollo suele ser difícil o a veces imposible (Sölkner et al., 1998).

1.1.2. Programas de mejoramiento genético cooperativos

Como alternativa a los programas tradicionales de mejoramiento genético, típicos de bovinos de carne en regiones desarrolladas, emergen los programas basados en sistemas cooperativos (Cuadro 1). Estos programas fueron diseñados como una alternativa para sistemas de pequeña escala y han sido extensamente aplicados en rumiantes menores (Kosgey y Okeyo, 2007). Los programas cooperativos involucran estrategias comunitarias que surgen de las necesidades de los propios productores, son proactivos, facilitan la organización de las estructuras intervinientes y tienen como objetivo no sólo atender a la gestión de los recursos genéticos, sino también a aspectos sociales, culturales y ecológicos.

Cuadro 1. Diferencias entre programas de mejoramiento genético animal tradicionales y cooperativos.

Características	PROGRAMAS DE MGA	
	Tradicionales	Cooperativos
Límites geográficos	Regional, internacional	Local, comunitario
Mercados	Comercial	Subsistencia, comercial
Agente de programa	Asociaciones de criadores, compañías de MGA	Productores, grupos de criadores
Objetivos de selección	Definido por la compañía u organización	Definido por los productores de forma participativa
Estructura	Piramidal a gran escala. Núcleos cerrados	Baja escala, pocos niveles, núcleos abiertos
Recursos genéticos	Internacionales	Locales
Infraestructura	Avanzada, disponible	Precaria, limitada
Manejo	Intensivo de altos insumos	Extensiva de bajos insumos
Tomador de riesgo	Empresa, empresarios	Productores, familia

Adaptado de Mueller et al. (2015).

El programa de MGA cooperativo más difundido en sistemas de producción de pequeña escala es el denominado de núcleos abiertos. A diferencia de los programas de mejoramiento genético tradicionales, los programas cooperativos de núcleos abiertos permiten que animales nacidos en cualquiera de los estratos de la población puedan pasar a formar parte, si su mérito lo amerita, de los estratos jerárquicamente superiores respecto a su nivel genético. De este modo, existe un flujo de genes entre los estratos y, en consecuencia, los núcleos están “abiertos” a la introducción de animales de estratos jerárquicamente inferiores (James, 1977).

Kosgey et al. (2006) presentan una revisión exhaustiva de experiencias de núcleos abiertos en sistemas de pequeña escala y bajos recursos en ovinos. Las primeras experiencias con este tipo de programas fueron desarrolladas por cabañeros de las razas Merino y Romey Marsh en Australia y Nueva Zelanda, respectivamente (Parker, 1970). En estos programas, la formación del núcleo se lograba mediante el aporte de las mejores hembras de cada majada participante y el núcleo era manejado por uno de los miembros de la cooperativa. Año tras año, cada uno de los miembros aportaba un porcentaje de borregas para reposición de ovejas viejas y recibía, a cambio, machos para ser utilizados en sus majadas como carneros (cf. Mueller, 1985).

En una experiencia más reciente, en Menz, Etiopia, se comparó la eficiencia de selección para peso corporal bajo dos programas de mejoramiento genético en sistemas de producción ovina de pequeña escala y bajos insumos, uno de tipo comunitario y otro bajo prácticas tradicionales. Los resultados obtenidos demostraron que la mejora genética es difícil de lograr mediante esfuerzos individuales bajo prácticas de cría tradicionales. La organización de los productores y la adopción de un modelo apropiado

son aspectos necesarios para desarrollar un programa de mejoramiento genético comunitario eficiente (Gizaw et al., 2014).

En todos los casos, un elemento clave para garantizar el éxito de un programa de mejoramiento genético cooperativo de núcleos abiertos es trabajar en el desarrollo de las capacidades de los productores y promover y fortalecer los nexos entre instituciones de I+D con los gobiernos, ya que estos programas demandan un gran apoyo técnico, económico y organizativo en sus etapas iniciales (Mueller et al., 2015).

1.1.3. Programas de mejoramiento en la región ganadera de La Rioja

Los sistemas de producción de pequeña escala y bajos insumos propios de la región ganadera de la Provincia de la Rioja constituyen un caso apropiado para ilustrar la utilidad de un programa de MGA cooperativo como el que se desarrolla en esta tesis. La provincia de La Rioja no ha definido hasta la fecha una política pública con respecto a la gestión de los recursos zoogenéticos, particularmente en el caso de los bovinos de carne. En algunos casos, sectores públicos y/o privados promueven la difusión de reproductores de razas provenientes de otras regiones que rara vez se adaptan a las condiciones propias de los sistemas de pequeña escala y bajos insumos y, por el contrario, generan habitualmente mayores gastos operativos. Como recomienda FAO (2010), es fundamental alinear los recursos zoogenéticos a los sistemas de producción locales.

Con respecto al manejo de los recursos genéticos, en la provincia de La Rioja el flujo de genes entre los establecimientos ganaderos de la región proviene básicamente del auto-reemplazo de reproductores de los mismos establecimientos o, en el mejor de los casos, del intercambio entre vecinos. A la hora de seleccionar los reemplazos sólo algunos caracteres fenotípicos son considerados, sin ningún tipo de evaluación por desempeño. Sólo en el caso de establecimientos ganaderos medianos a grandes que cuentan con mayores recursos económicos la difusión de genética mejorada a través de la introducción de reproductores de cabañas ha logrado algún éxito.

1.2. Justificación

Los programas de mejoramiento genético cooperativos de núcleos abiertos han sido poco explorados en bovinos, fundamentalmente porque se han aplicado a sistemas de producción minifundistas más extremos donde los rumiantes menores constituyen la especie ganadera tradicional. Sin embargo, en algunas regiones de menor desarrollo existe también un estrato de productores entre el minifundio de subsistencia y el empresario ganadero tradicional que sustenta su actividad económica en la cría vacuna. Este trabajo explora a este estrato de productores, atendiendo a aquellos sistemas de producción bovina familiar de pequeña escala y de bajos insumos que, sin ser de subsistencia, tampoco alcanzan las características de los sistemas de tipo empresarial.

Por otro lado, un manejo racional de los recursos zoogenéticos debe reconocer que los biotipos bovinos disponibles, de mayor rusticidad y adaptación a las condiciones locales, no sólo constituyen una fuente de diversidad genética para enfrentar los diversos factores que amenazan la producción sino también constituyen una fuente de identidad regional. Estos recursos contribuyen al desarrollo, a la seguridad, a la soberanía alimentaria y a la disminución de la pobreza de las regiones donde se los aplica (FAO, 2010).

1.3. Objetivos

El objetivo general de esta tesis fue diseñar un programa de mejoramiento genético cooperativo de núcleos abiertos para bovinos de carne, aplicable a regiones donde predominan sistemas de producción de pequeña escala y de bajos insumos. Se tomó como caso de estudio para su desarrollo y aplicación la situación de los pequeños productores en la región ganadera de Los Llanos, provincia de La Rioja, Argentina.

1.3.1. Objetivos específicos:

1. Desarrollar conceptualmente el programa cooperativo de núcleos abiertos para bovinos de carne.
2. Caracterizar en detalle el sistema de producción de cría bovina típico de la Provincia de La Rioja.
3. Definir un objetivo de selección económico para esta población. Este objetivo involucra las siguientes etapas:
 - a. Definir el conjunto de caracteres a evaluar y construir un índice de selección económico.
 - b. Definir la ecuación de beneficio acorde a los sistemas de producción representativos de la región. Esta ecuación será una función de los caracteres seleccionados.
 - c. Calcular los valores económicos de los caracteres intervinientes en dicho índice de selección.
4. Estimar la respuesta a la selección anual, en términos productivos y económicos, generada por el programa de mejora genética.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción del programa cooperativo de núcleos abiertos

En esta sección se desarrolla en detalle el programa cooperativo de núcleos abiertos propuesto. Para enmarcarlo, se comenzará describiendo la estructura de una población bajo un programa de mejoramiento genético tradicional.

2.1.1. Estructura de los programas de mejoramiento genético tradicionales

Tradicionalmente los programas de mejoramiento genético en especies ganaderas se basan en la organización de la población en una estructura jerárquica piramidal de dos o tres niveles con respecto a su nivel genético (Figura 1). El modelo más simplificado sólo incluye dos niveles: el núcleo, donde se realiza la presión de selección y se acumula el progreso genético, y los rodeos comerciales, cuyo nivel genético se basa en la difusión del mejoramiento acumulado en el núcleo. Algunos modelos incluyen un estrato intermedio cuya función es multiplicar los animales provenientes del núcleo con el objetivo de aportar un mayor número de machos a los rodeos comerciales (Bichard, 1971). Este último es el modelo de organización típico en bovinos de carne.

En regiones desarrolladas, los rodeos vacunos se organizan en una estructura de tres estratos bien definidos. El progreso genético de la población en general depende del esfuerzo realizado en el núcleo, que constituye el vértice de la pirámide. En este nivel se encuentran las cabañas de elite, con un alto grado de organización e inversión en tecnología de procesos e insumos, y cuyo principal producto comercial son los reproductores, particularmente los toros. Por su parte, el estrato intermedio o *multiplicador* es el encargado de multiplicar estos reproductores, apareando sus rodeos selectos de hembras con los machos del núcleo y comercializando los productos resultantes con el fin de cubrir la demanda insatisfecha de la base de la pirámide, el estrato comercial. En este último nivel se encuentran los establecimientos ganaderos que hacen uso dentro de sus sistemas de producción del progreso genético logrado en los estratos superiores. Su objetivo comercial es introducir al mercado el producto animal, ya sea el ternero al destete o el novillo gordo. Bajo este modelo de organización, el flujo de genes es unidireccional y fluye desde el núcleo al estrato comercial.

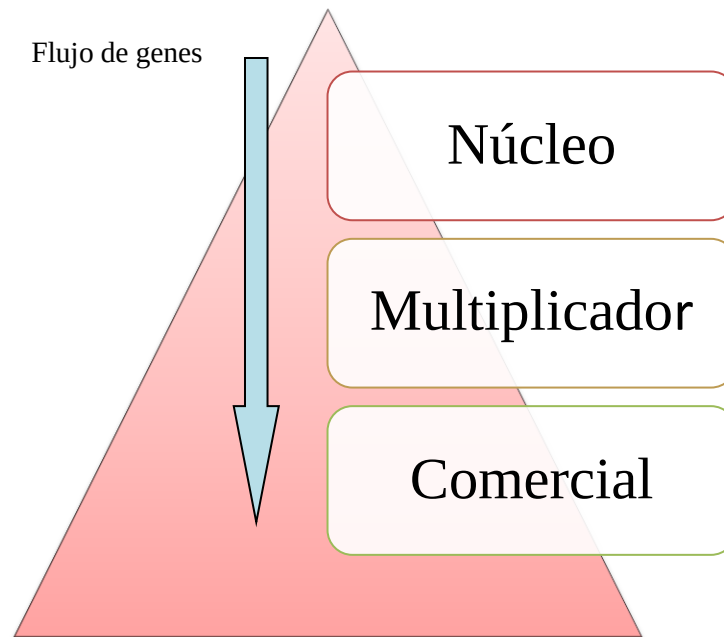


Figura 1. Modelo de organización sobre el que se basan los programas tradicionales de mejoramiento genético animal en bovinos de carne.

2.1.2. Estructura de un programa de núcleos abiertos

Alcanzar altos niveles de organización y disponer de los medios económicos para solventar un programa de mejoramiento tradicional es difícil de lograr en regiones en las que predominan sistemas de producción de pequeña escala y bajos insumos. La alternativa que se propone en este trabajo es la de diseñar un programa de mejoramiento genético con una organización de tipo abierta y cooperativa. En términos generales, las estrategias de mejoramiento genético basadas en núcleos abiertos proponen una estructura en forma de red en lugar de una pirámide. La apertura del núcleo puede generar incrementos en la tasa de ganancia genética de entre un 10% a un 15%, al tiempo que permite disminuir a la mitad la tasa de consanguinidad (James, 1977). Por otro lado, permite distribuir los gastos asociados al programa entre los miembros cooperantes, mejorar la organización y facilitar el registro de información para el desarrollo de un programa de evaluación genética.

El diseño de la estructura en red propuesta contempla una topología en *estrella* (o *hub*) con tres nodos (Figura 2). Este tipo de organización, a diferencia de una organización jerárquica, define que las acciones son llevadas a cabo por acuerdos en lugar de por una jerarquía (Arquilla y Ronfelt, 2001):

Nodo cooperativo: integrado por establecimientos ganaderos con límites bien definidos que realizan un manejo similar e integral de los recursos de producción (manejo de forrajes, rodeo, sanidad y reproducción, etc.) bajo un sistema de producción de pequeña escala y bajos insumos. Se asume que presentan niveles medios de organización y una mínima infraestructura. Los productores se nuclean en una cooperativa de mejora

genética, y deben aceptar normas y reglamentos determinados colectivamente en pos del beneficio común de todos sus integrantes (Mueller et al., 2015). La integración puede ser regional y sostenerse en grupos de productores preexistentes. Identificar estructuras preexistentes puede ser muy valioso a la hora de diseñar el programa (Kosgey et al., 2007). Ejemplo de estas estructuras pueden ser los grupos de Cambio Rural (INTA), grupos CREA y productores miembros de Sociedades Rurales, entre otros.

Nodo facilitador: asume la función de nexo entre el núcleo y el estrato cooperativo. Colabora en la organización previa e interviene en la formación de la cooperativa. También asiste a los miembros cooperantes en el registro de información, elaboración de bases de datos y asistencia técnica, facilitando tecnología y herramientas para la gestión de factores de producción complementarios como sanidad, reproducción, nutrición etc. Por ejemplo, interviene en la identificación y trazabilidad de terneros, diseña cadenas de pastoreo y ajuste de carga ganadera, elabora un calendario sanitario acorde a la región, suministra instrumental de medición y pesada, como básculas para el pesado de terneros al nacimiento y destete, entre otras tareas. También debe cumplir la función de capacitador, fortaleciendo las capacidades de los productores. Este nivel puede estar integrado por extensionistas de agencias de desarrollo, como el INTA, profesionales asesores de grupos de Cambio Rural o CREA, agentes de ministerios nacionales, provinciales y/o municipales, etc. El apoyo del sector público mediante agencias de desarrollo e investigación agropecuaria es un requisito previo para garantizar un inicio saludable y sostenible de un programa de núcleos abiertos (Mueller et al., 2015).

Núcleo: constituye el nodo central de la red, y el que presenta un mayor grado de organización, insumos, tecnologías y financiamiento. La principal función del núcleo es recibir en cesión los toritos candidatos a la selección provenientes de los miembros cooperantes, criarlos y evaluarlos. Sobre todos los toritos de una cohorte, se seleccionan aquellos que pasarán a integrar el banco de semen, que también gestionará el núcleo, para luego distribuir las pajuelas entre los miembros cooperantes y productores no asociados. Este nodo requiere infraestructura e instalaciones particulares que pueden ser provistas por estaciones experimentales de institutos de investigación o extensión (por ejemplo, EEAs del INTA), campos experimentales estatales (nacionales o provinciales) o bien por algún miembro de la cooperativa que cumpla con ciertos requisitos y que esté abocado pura y exclusivamente a estas tareas.

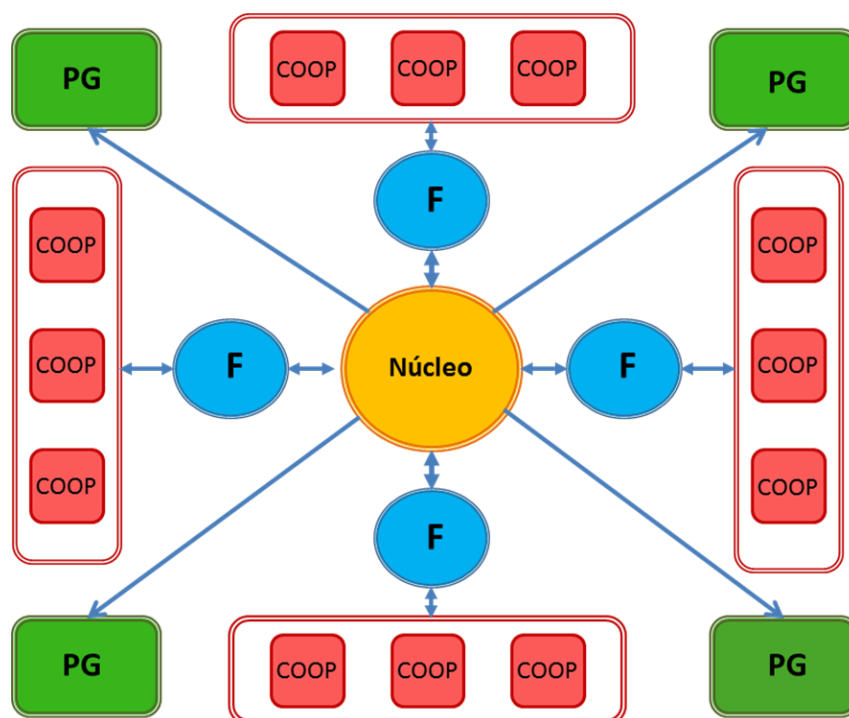


Figura 2. Estructura en forma de red propuesta para un programa de mejoramiento genético animal de tipo cooperativo de núcleo abierto. F: facilitador; PG: productor general; COOP: miembros cooperantes

2.1.3. Funcionamiento del programa

El funcionamiento del programa es sencillo. Los miembros cooperantes se comprometen a ceder al núcleo los terneros machos que el programa determine de acuerdo al resultado inapelable de la evaluación genética. El núcleo ofrecerá el servicio de hotelería, tomará nuevas mediciones sobre estos candidatos a la selección y computará un índice económico. Los toritos más destacados de la cohorte de acuerdo a este criterio serán finalmente selectos para integrar un banco de semen que gestionará el núcleo. Finalmente, los miembros cooperantes se beneficiarán con la disponibilidad de pajuelas de semen de los toros selectos. El núcleo simplemente descontará los gastos de funcionamiento a partir de los beneficios generados por las ventas de toros de rechazo y pajuelas de semen.

Un punto crítico del programa es si éste debe iniciarse con reproductores de una raza en particular o debe constituirse como una población cerrada. Esta discusión va más allá de los límites de este trabajo. Es importante destacar que el programa puede funcionar bajo cualquiera de los dos esquemas: integrar una “cabaña” de una asociación de criadores o constituirse en una población en sí misma.

2.2. Caracterización del área en estudio

Como caso de estudio, se evaluará la aplicación del programa cooperativo de núcleos abiertos propuesto en la región ganadera de la provincia de La Rioja, Argentina. La región denominada los “Llanos de la Rioja” es un exponente típico del chaco árido comprendida entre los 28°15′ S y 33°30′ S, y entre los 64°01′ W y 67°31′ W. Esta

región abarca el centro-sur de La Rioja, sur de Catamarca, este de San Juan, norte de San Luis, oeste de Córdoba y sur-oeste de Santiago del Estero. La región comprende 100.000 km² y se encuentra enmarcada por un conjunto de sierras pampeanas de alrededor de 2000 m.s.n.m. (Morello, 1985).

El clima de la región es subtropical seco con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 17°C y los 20°C y precipitaciones que van de los 500 mm al este, hasta los 300 mm al oeste. El 80% de la precipitación anual se concentra entre los meses de noviembre y marzo. Los veranos son cálidos y poseen 20 a 25 días con temperaturas superiores a 40°C, y los inviernos son templados con sólo 5 a 10 días con temperaturas bajo cero (Morello, 1985).

2.2.1. Descripción y situación actual de los sistemas de producción

En la provincia de La Rioja, en la región denominada Los Llanos, el 90% de los productores se dedica a la producción bovina. De acuerdo al último censo nacional agropecuario disponible, en la región se concentra el 93% del stock bovino provincial, con un total de 191.398 cabezas distribuidas en 2.845 EAPs bovinas (CNA, 2008). El 61% de las EAPs ganaderas presentan límites definidos (CNA, 2008). El 58% de los establecimientos con límites definidos se encuentran en el rango de 0 a 500 hectáreas, demostrando la importante participación de los pequeños productores (Salomon, 2003).

Los sistemas de producción de la región se caracterizan por presentar bajos índices productivos, como índices de destete de alrededor del 50% y producciones de 4 a 5 kg de carne por hectárea, asociados principalmente a la escasa disponibilidad y estacionalidad del forraje. En relación a la infraestructura, solo el 62% de los establecimientos cerrados tienen alambrado perimetral completo y el 43% tienen al menos una división interna (Salomon, 2003), falencias que afectan el manejo reproductivo y sanitario del rodeo y la utilización racional de los recursos forrajeros. Otro factor importante que afecta a la producción es la escasez de recursos hídricos para bebida animal. Es importante destacar que la capacidad de carga anual de la región es de más de 20 has por equivalente vaca (EV) (Guevara et al., 2008).

Para toda la región de los Llanos, solo el 5 % de los productores declaran realizar prácticas de manejo con sus animales, aplicando las técnicas disponibles, especialmente en lo referente a la separación de los toros y vientres, realizar el primer servicio con la edad y el peso adecuados y planear la alimentación diferencial por categoría. La carencia de organización y apatía para la participación activa de los productores es otra limitante (Salomon, 2003).

A pesar de ello, la adopción de tecnologías propuestas por la Estación Experimental Agropecuaria La Rioja del INTA La Rioja, tales como la implantación de pasturas en áreas de baja productividad, un adecuado manejo del rodeo, un correcto calendario sanitario, entre otras, permitirían que los resultados productivos y económicos sean superiores respecto a establecimientos con escasa o nula adopción de tecnologías, triplicando la producción de carne por hectárea y logrando índices de destete superiores al 90%, tal como se observa en Tessi et al. (2018). La EEA INTA La Rioja juega un rol fundamental en el desarrollo de paquetes tecnológico-productivos ambientalmente sustentables para la región, aplicables al manejo de los pastizales naturales, pasturas implantadas y producción animal.

2.3. Definición del objetivo de selección

El objetivo principal en toda empresa ganadera es lograr el máximo beneficio económico. El beneficio económico puede ser expresado a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Beneficio} = \text{ingresos} - \text{egresos}$$

Una ecuación de beneficio es una función que expresa el objetivo de selección relacionando caracteres de importancia económica mensurables a todos los ingresos y egresos generados por el sistema de producción. Para ello se realizó un análisis exhaustivo de la estructura de gastos e ingresos de un establecimiento modelo para luego realizar un análisis de margen bruto, que se detalla más adelante. En términos generales, el beneficio de una empresa ganadera no puede atribuirse exclusivamente a un solo carácter, sino más bien a un conjunto de ellos (Harris, 1970). En consecuencia, un criterio de selección óptimo debe combinar adecuadamente el conjunto de caracteres. La teoría del índice de selección para varios caracteres (Hazel, 1943) define el genotipo agregado (H) como un único valor en el cual cada carácter componente contribuye al mérito del candidato según su importancia económica relativa. Al genotipo agregado se lo suele denominar índice económico y se define por la siguiente expresión:

$$H_i = \sum_{j=1}^n e_j A_{ij},$$

Donde:

H_i = genotipo agregado o índice económico del i -ésimo animal.

A_{ij} = valor de cría del i -ésimo individuo para el carácter j .

e_j = valor económico del carácter j .

El índice económico permite seleccionar por varios caracteres simultáneamente, ya que reúne en una sola cifra los premios y castigos otorgados a cada animal de acuerdo a su superioridad o inferioridad en cada carácter componente. La superioridad para cada uno de los caracteres componentes viene dado por la correspondiente predicción del valor de cría. Es decir, en la práctica, el índice económico es una función de los valores de cría predichos (o DEPs) de los caracteres componentes. Los factores de ponderación, por su parte, se derivan de la misma ecuación de beneficio.

Para el presente trabajo se desarrolló una ecuación de beneficio para el sistema de producción de cría característico del área de estudio. Para ello, se realizó una descripción exhaustiva de este sistema de producción, identificando los ingresos, egresos y las vías de comercialización del producto final. Luego, se asociaron estos componentes a los caracteres que se prevé evaluar en el programa de núcleos abiertos.

2.3.1. Caracteres a seleccionar

En particular, se definieron tres caracteres para integrar el índice económico: peso al nacimiento, peso al destete y peso de vaca adulta (PN, PD, y PVA, respectivamente). Estos atributos caracterizan la curva de crecimiento del bovino y, en consecuencia, se

relacionan directamente con su productividad. Por otro lado, si bien no son los únicos caracteres importantes en un sistema de cría, estos caracteres son relativamente fáciles y económicos de medir sobre un grupo grande de individuos. En la medida que el núcleo cooperativo entre en régimen es posible incorporar nuevos caracteres al índice.

2.3.2. Valores económicos de los caracteres a seleccionar

Los diferentes caracteres que integran el índice tienen una relevancia económica distinta en los ingresos y egresos del sistema de producción. El valor económico de un carácter se define como la cantidad en la cual se espera que se incremente el beneficio por una unidad mejorada en dicho carácter (Hazel, 1943). Como parte de este trabajo, se calcularon los valores económicos de cada uno de los caracteres del índice propuesto.

2.4. Respuesta a la selección y resultados del programa

El principal efecto de la selección es un desplazamiento o cambio de la media poblacional. Este cambio se denomina respuesta a la selección (Falconer y Mackay, 1996) y se cuantifica como la diferencia entre la media de los valores fenotípicos de los hijos de los individuos seleccionados y la media de población antes de la selección. La respuesta a la selección, R , depende de varios factores:

- ✓ La selectividad o intensidad de selección (i).
- ✓ La precisión del criterio de selección (Exa).
- ✓ La variabilidad genética (σ_A).
- ✓ El intervalo generacional (L).

Cuando el criterio de selección es el valor de cría predicho, la respuesta a la selección se expresa simbólicamente como:

$$R = \frac{i \times Exa \times \sigma_A}{L}$$

Nótese que los tres primeros factores tienen un impacto directo sobre la respuesta a la selección, mientras que el intervalo generacional es inversamente proporcional.

La intensidad de selección hace referencia a la exigencia a la hora de seleccionar aquellos individuos superiores. En un contexto de selección direccional, donde se selecciona sólo el extremo de la distribución, seleccionar intensamente implica elegir sólo los mejores, mientras que seleccionar sin intensidad equivale a seleccionar al azar. Cuando la selección es por truncamiento, es decir, cuando se seleccionan individuos que superan un determinado umbral y se rechazan los individuos con valores inferiores a lo establecido, es posible relacionar la intensidad de selección a la proporción de individuos selectos y obtener así su valor de la tabla de percentiles de la distribución de probabilidad de la Normal truncada (cf. Falconer y Mackay, 1996).

La precisión del criterio de selección se relaciona con la probabilidad de que los individuos seleccionados como superiores efectivamente lo sean. En el contexto de una

evaluación genética, la exactitud de la predicción de un valor de cría es la correlación entre el verdadero valor de cría y su predictor, y que depende fundamentalmente de la heredabilidad del carácter y del volumen de información disponible. En general, a mayor exactitud mayor progreso genético.

Para el caso de una prueba de progenie, la exactitud de la predicción es función de la heredabilidad del carácter y la cantidad de hijos evaluados, n , y se puede computar como (e.g., Mueller, 2018):

$$Exa = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n h^2}{1 + (n - 1)\frac{1}{4}h^2}}$$

Por otro lado, la variabilidad genética también tiene un impacto directo sobre la respuesta a la selección. Si hay más variabilidad genética en una población existirá una mayor diferencia entre los individuos superiores y la media poblacional y, en consecuencia, un mayor diferencial de selección. Además, para una variabilidad ambiental dada; mayor variabilidad genética permite al mejorador identificar aquellos individuos sobresalientes con mayor facilidad y por ende aplicar mayor intensidad de selección. La variabilidad genética se cuantifica mediante el desvío estándar aditivo, σ_A .

Finalmente, el intervalo generacional se define como la edad promedio de los padres cuando son remplazados por sus hijos. En otras palabras, es el tiempo requerido para remplazar una generación. En el caso de los bovinos, un intervalo generacional típico es de 5 años. Nótese que cuanto más veloz es el recambio generacional de los individuos selectos, mayor es el progreso genético.

El cálculo de la respuesta a la selección es una herramienta útil a la hora de evaluar el impacto de programas de mejoramiento genético, tanto en términos de producción como en términos económicos (Hill, 1974). En este trabajo, se calculó la respuesta a la selección generada por el programa de núcleos abiertos.

3. RESULTADOS

3.1. Ecuación de beneficio y valores económicos

El desarrollo de un índice económico que refleje el objetivo de selección requiere seguir una secuencia de cuatro pasos: 1. Especificación del sistema de producción y comercialización; 2. Identificación de fuentes de ingresos y egresos; 3. Determinación de los caracteres que influyen en los ingresos y egresos del sistema; y 4. Obtención del valor económico de cada uno de los caracteres intervinientes (Ponzoni y Newman, 1989).

3.1.1. Especificación del sistema de producción y comercialización característico de los miembros de la cooperativa de mejora.

Para el caso en estudio se asumió que la cooperativa de mejoramiento genético está integrada por seis miembros cooperantes cuya principal actividad agropecuaria es la cría bovina (Cuadro 2). Los principales productos de comercialización son, en consecuencia, terneros y terneras, seguidos por las vacas de refugio. En base a la información regional citada anteriormente y al tipo de productores al que está destinado este programa de mejora se tomó como estrato de productores aquellos que presentan límites definidos y cuyo rango de superficie varía entre las 2.500 y las 5.000 hectáreas. Dentro de este rango, se identificaron 120 EAPs ganaderas en los nueve departamentos de Los Llanos de La Rioja, que totalizan un total de 408.304 hectáreas. Las características productivas, la estructura de ingresos y gastos, vías de comercialización, etc., se ilustran para un establecimiento modelo cuya superficie corresponde al promedio de la superficie de los seis miembros cooperantes seleccionados (3.525 has) y cuyas prácticas de manejo y vías de comercialización son comunes

.

Cuadro 2. Superficie de establecimientos por cooperantes

	SUPERFICIE (Has.)
Cooperante A	2.500
Cooperante B	2.750
Cooperante C	3.000
Cooperante D	5.000
Cooperante E	4.200
Cooperante F	3.700
PROMEDIO	3.525 HECTAREAS

El principal recurso forrajero es el pastizal natural, el cual se maneja de forma rotativa para promover periodos de descanso. La producción de materia seca promedio es de 400 kg/MS/ha con un factor de uso del 50%. La receptividad ganadera se fijó mediante presupuestación forrajera en base a la oferta forrajera útil y a la demanda de forraje mensual de las diferentes categorías (Ferrando, 2008). La base del cálculo fue un peso adulto de los vientres de 400 kg, considerado el óptimo para los sistemas de cría de la zona (Ferrando et al., 2016). De acuerdo al balance forrajero realizado se determinó que por cada unidad de cría (UCRI = vientre + su porcentaje de toros y reposición de hembras) se requieren 22,6 hectáreas.

Respecto al manejo reproductivo del rodeo, los servicios se realizan en forma estacionada con el objetivo de hacer coincidir la época de mayores requerimientos nutricionales de los vientres (último tercio de gestación y lactancia) con la mayor oferta forrajera posible, definiendo la época de servicios a partir del mes de enero y las pariciones de octubre a diciembre. El servicio se realiza mediante inseminación a tiempo fijo (IATF) con toros del núcleo cooperativo. Además, se retiene anualmente un 2,5% de toritos para ser utilizados en un repaso mediante monta natural. A los 60 días de retirado el toro del repaso se realiza diagnóstico de preñez mediante tacto rectal. La edad a primer servicio de las vaquillonas es a los 24-27 meses de edad con un porcentaje de preñez del 85%, descartando toda vaquillona que quede vacía al primer servicio. Por su parte, el porcentaje de reposición de hembras es del 20%. Se asume un porcentaje de destete del 70% con un peso promedio de 140 kg y una edad promedio de 5,5 meses. El descarte de vientres o vacas de refugio se determinaría mediante desgaste dentario al momento del diagnóstico de preñez, promediando los 9 años de vida. Aquellas vacas que al tacto resultan preñadas y sin dientes se las clasifica como CUTs (cría ultimo ternero) y una vez destetado este ternero la vaca se vende como gorda al mercado local al igual que toda vaca que resulte vacía y sin dientes. En los Cuadros 3 y 4 se detallan distintos parámetros reproductivos y productivos.

Cuadro 3. Estructura de edades, porcentajes de preñez, descartes y pérdidas por edades, para un establecimiento modelo.

ESTRUCTURA DE EDADES Y SEXO											
Edad en años	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
Hembras (proporción por categoría etaria)	55	31,2	29,9	28,7	23,5	22,5	21,6	20,8	19,9	19,1	156
% preñez/cat.				85%	70%	75%	75%	75%	74%	74%	75%
Descartes				4,3	2,7%					19,1	23,4
% pérdidas/año			4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%

Cuadro 4. Superficie, pesos de distintas categorías e índices de procreo para un establecimiento modelo.

Superficie promedio (has)	3.525
Receptividad (has/UCRI)	22,6
Vacas en servicio	156
% de preñez	75%
%preñez vaquillonas	85%
Peso al nacimiento (kg)	29
Peso al destete (kg)	140
% destete	70%
% reposición de machos	2,5%
% reposición de hembras	20%
% pérdidas anuales	4%
% descarte 1° servicio	2,8%
% descarte vacas refugo	12%
Peso vaca adulto (kg)	400

3.1.2. Identificación de las principales fuentes de ingresos y egresos del sistema.

En los Cuadros 5 a 8 se detallan las principales fuentes de ingresos y egresos del sistema en estudio. Los valores monetarios en pesos argentinos tanto de insumos como de productos vendidos son tomados a la fecha de agosto del 2019.

Cuadro 5. Principales fuentes de ingresos e indicadores económicos

Categoría	cabezas	peso	kg/categoría	\$/kilo	\$/ categoría
Vacas refugo	23	400	9200	50	\$ 460.000,00
Terneros	51	140	7140	70	\$ 499.800,00
Terneras	23	140	3220	70	\$ 225.400,00
INGRESO BRUTO					\$ 1.185.200,00
Ingreso/ha.					336
Kilos totales (kg)					19.560
promedio de ventas (\$/Kg)					60
Producción de carne/ha					5,5
Proporción de ingresos por terneros/as					62%
Proporción de ingresos por vacas					38%

Cuadro 6. Principales fuentes de egresos de la categoría terneros

ITEM	Unidades/dosis	\$/dosis o unidad	Total por tratamiento (\$)
Aftosa	218	88	19.215,93
Brucelosis	109	80	8.734,51
Antiparasitario interno	1	500	500
Curabicheras	4	120	480
Antibiótico	1	400	400
Veterinario	3	480	1.440
TOTAL SANIDAD			30.770
ATENCION PARTO	2,69*	2900	7802
Caravanas oficiales	75	15	1.111,00
Guías de traslado	75	18	1.333,00
% comisión de venta	2%		14.521,00
TOTAL COMERCIALIZACION			16.965
Mano de obra	45 días	840	37.800
EGRESOS TERNEROS			93.337,44
Egresos comercialización/kilo de ternero (C1)			1,6
Egresos atención parto/kilo de ternero (C2)			0,75
Egresos sanidad de terneros/vientre (C3)			197,3
Egresos mano de obra de terneros/vientre (C4)			242,35

* C1, C2, C3, C4; corresponde a las distintas fuentes de egresos o gastos.

*Ver anexo A.1.

Cuadro 7. Principales fuentes de egresos de la categoría vacas

ITEM	Unidades/dosis	\$/dosis o unidad	Total por tratamiento (\$)
Alimentación	221.990*	1,3	288.587
TOTAL ALIMENTACION			288.587
Aftosa	156	88	13.728
Brucelosis	156	80	12.480
Antiparasitario interno	1	500	500
Antiparasitario externo	4	500	2.000
Curabicheras	2	120	240
Complejo diarreico	156	24	3744
IBR-DVB	156	9	1404
Antibiotico	1	400	400
Veterinario	2	480	960
Tacto	156	48	7488
TOTAL SANIDAD			42.944
Guías de traslado	23	18	421,93
% comisión de venta	2%		9.376,14
TOTAL COMERCIALIZACION			9.798,07
Mano de obra	45 días	840	37.800
EGRESOS VACAS			379.129,07
Egresos comercialización/kilo de vaca (C5)			1,05
Egresos alimentación/kilo de vaca (C6)			31
Egresos sanidad/vientre (C7)			275,29
Egresos mano de obra/vientre (C8)			242,35

* C5, C6, C7, C8; corresponde a las distintas fuentes de egresos o gastos.

*Kg de materia seca por año para 156 vientres.

Cuadro 8. Resumen de principales indicadores económicos

TOTAL INGRESOS	\$ 1.185.200,00
TOTAL EGRESOS	\$ 472.466,51
COSTO POR HA	\$ 134
COSTO POR KILO PRODUCIDO	\$ 23,9
COSTO POR ANIMAL	\$ 3029
MARGEN BRUTO	\$ 722.401,38
MARGEN BRUTO POR HA	\$ 204,94

Los valores de venta de las distintas categorías se tomaron del promedio de ventas de la región y de ferias regionales. La modalidad de venta es en forma directa desde el campo del criador a engordes o feedlots locales. Por lo general, en la zona la venta se hace a través de intermediarios o comisionistas de hacienda cuya comisión de venta corresponde a alrededor de un 2% de la venta.

El valor de los insumos veterinarios se tomó de los comercios de la zona y los precios de las vacunaciones oficiales de aftosa y brucelosis son fijados anualmente para cada campaña por el SENASA, al igual que los gastos correspondientes a emisión de guías de traslado y caravanas oficiales.

En cuanto a los gastos de alimentación, se definió un valor de \$1,3 por kilo de materia seca del pastizal natural (Cuadro 9). Este valor surge de la relación entre el costo de pastaje por animal por día y el consumo de materia seca por día por vaca.

Cuadro 9. Costos de alimentación

Costo diario pastaje (\$/día)	Consumo de materia seca diario (kg)	\$ kilogramo de materia seca de pastizal natural
13	10	1,3

Respecto a los gastos por atención de parto con o sin dificultad se tomó como referencia el trabajo de Laster et al. (1973), que indica que por cada incremento de un kilo en el peso al nacimiento incrementa un 2,3% las probabilidades de atención de partos. De acuerdo a los registros históricos de INTA La Rioja el peso al nacimiento promedio para las razas criollas y cruza de la región es de 28 kg, lo que representa el 7% del peso de una vaca de 400 kg. Justamente se utilizó este valor del cociente entre el peso al nacimiento y el peso de la vaca adulta para establecer el aumento de costos producto de la atención de partos distócicos.

3.1.3. Ecuación de beneficio

Identificadas las principales fuentes de ingresos y egresos del sistema se procedió a desarrollar la ecuación de beneficio. La ecuación de beneficio reflejará los ingresos y egresos por vientre y por año. Los beneficios a partir de un vientre pueden provenir de dos vías: los kilos de terneros producidos por dicho vientre (producción de carne por

vientre entorado, menos los porcentajes de reposición de machos y hembras) y los kilos de vacas refugio vendidas. Es decir,

$$B = B_{ktv} + B_{kvv},$$

Donde B_{ktv} es el beneficio obtenido por los kilos de ternero vendido y B_{kvv} es el beneficio obtenido por los kilos de vaca refugio vendido.

A su vez, cada uno de estos términos puede ser expresado en función de los caracteres seleccionados a mejorar. Así, el beneficio obtenido por los kilogramos de ternero destetado por vientre entorado es igual a:

$$B_{Kt} = (\%Dtt - \%_{reph} - \%_{repm}) * PD * (\$_{kt} - C_1) - (\%preñez) * (PN - PVA * 0,07) * C_2 * 0,023 - (C_3 + C_4)$$

Aquí:

B_{Kt} = beneficio por los kilos de ternero vendido

$\%Dtt$ = porcentaje de destete

$\%_{reph}$ = porcentaje de reposición de hembras

$\%_{repm}$ = porcentaje de reposición machos

PD = peso destete

PVA = peso de vaca adulta

$\$_{kt}$ = precio kilo ternero

PN = peso al nacimiento

C_1 = costo comercialización por kilo

C_2 = costo atención de parto con dificultad por kilo

C_3 = costo sanidad de terneros por vientre

C_4 = costo mano de obra de terneros por vientre

Y, el beneficio obtenido por los kilogramos de vaca de refugio vendida

$$B_{kv} = (\%d1serv + \%dvref) * PVA * (\$_{kv} - C_5) - (\%d1serv + \%dvref) * PVA * C_6 - (C_7 + C_8)$$

Donde:

PVA = peso de vaca adulta

$\%d1ser$ = porcentaje de descarte de vacas al primer servicio

$\%dvref$ = porcentaje de descarte de vacas refugo

$\$kv$ = precio kilo vaca

$C5$ = costo comercialización por kilo

$C6$ = costo de alimentación por kilo

$C7$ = costo sanidad por vientre

$C8$ = costo mano de obra por vientre

En cuanto a los beneficios obtenidos por los kilos de vaca por año, es necesario destacar que no solo los costos de producción y/o mantenimiento y los ingresos son importantes sino también las vías de comercialización. Respecto a esta categoría, al menos para esta zona, la principal vía de comercialización es el mercado local o auto abastecimiento regional, siendo el producto de venta la vaca conserva o flaca destinada a manufactura (350 kg PV) o bien la vaca “consumo” de alrededor de 400 kg de PV. Considerando que entre el 40 y 50% de los kilogramos producidos en rodeos de cría corresponden a categorías mayores, principalmente vacas, una estrategia para incrementar los beneficios del sistema es el engorde de no más de 120 días de las categoría vacas de refugo. El cambio de categoría de pasar de una vaca conserva a una vaca consumo no solo genera un incremento en los kilogramos ganados sino también un incremento del precio del kilo vivo, a diferencia de los terneros, que al aumentar su peso el precio por kilo disminuye. De esta forma se pueden obtener un incremento por precio de kilo de vaca del 60% y ganancias por animal de alrededor del 80%. En consecuencia, asumimos que el peso final de vaca adulta (PVA) no debe ser mayor a 400 kilogramos, principalmente para que sea un producto vendible y que atienda a la demanda local y que debido a la estacionalidad y baja disponibilidad de forraje permita una ganancia de 50 a 70 kilos en un periodo de engorde no mayor a 100 – 120 días. Al mismo tiempo, logramos mantener el PVA por debajo de un umbral que garantice la sostenibilidad del sistema.

3.1.4. Valores económicos de los caracteres que integran el índice

Los valores económicos ponderan el mérito genético de los candidatos a la selección para los diferentes caracteres que integran el índice económico. Estos valores se calcularon según

$$e_j = \rho_j * EGD_j,$$

Donde ρ_j representa la ponderación económica del j -ésimo carácter y EGD_j , su correspondiente expresión genética descontada (Amer et al., 2001). En el Cuadro 10 se presentan los valores económicos obtenidos y sus componentes, cuyo cálculo se detalla a continuación.

3.1.4.1. Ponderaciones económicas

La ponderación económica refleja la cantidad en la cual se espera que se incremente el beneficio por una unidad de incremento del carácter (Hazel, 1943). Específicamente, se

calcula tomando la derivada parcial de la ecuación de beneficio respecto a cada carácter en el punto de las medias poblacionales de todos los caracteres.

Peso al destete

La ponderación económica del carácter peso al destete (PD) se obtuvo derivando de la ecuación de beneficio el beneficio por kilos de ternero vendidos por vientre, B_{Kt} .

$$\rho_{PD} = \frac{\partial B}{\partial PD} = \frac{\partial B_{Kt}}{\partial PD}$$

Luego,

$$\begin{aligned}\rho_{PD} &= \frac{\partial B_{Kt}}{\partial PD} = \frac{\partial(\%Dtt - \%reph - \%repm) * PD * (\$_{Kt} - C_1)}{\partial PD} \\ &= (\%Dtt - \%reph - \%repm) * (\$_{Kt} - C_1) \\ &= (0,7 - 0,2 - 0,025) * (70 - 1,6) \\ &= 32,5 \frac{\$}{\text{kg}}\end{aligned}$$

Nótese que el beneficio marginal, por kg extra de ternero destetado no depende de los gastos de sanidad ni mano de obra, porque éstos son considerados en la ecuación de beneficio.

Peso al nacimiento

La ponderación económica del carácter peso al nacimiento (PN) también se obtuvo derivando el término B_{Kt} :

$$\rho_{PN} = \frac{\partial B}{\partial PN} = \frac{\partial B_{Kt}}{\partial PN}$$

En este caso, el carácter involucra los gastos por el incremento de la probabilidad de partos con dificultad por cada kilogramo por encima de un peso al nacimiento base. Por cada incremento unitario del PN por encima de los 28 kg, que equivale al 7 % del peso de vaca adulta, la probabilidad de partos con ayuda incrementa un 2,3%.

$$\begin{aligned}
\rho_{PN} &= \frac{\partial B_{Kt}}{\partial PN} = - \frac{\partial \%_{preñez} * (PN - PVA * 0,07) * C_2 * 0,023}{\partial PN} \\
&= -\%_{preñez} * C_2 * 0,023 \\
&= -0,75 * 0,74 * 0,023 \\
&= -0,013 \frac{\$}{kg}
\end{aligned}$$

El signo negativo de la ponderación económica indica que, en este sistema de producción, incrementos del peso al nacimiento generan perjuicios económicos.

Peso de vaca adulta

Finalmente, para calcular la ponderación económica del peso de vaca adulta (PVA) se derivó el beneficio por vaca respecto a este carácter:

$$\rho_{PVA} = \frac{\partial B}{\partial PVA} = \frac{\partial B_{Kt} + \partial B_{Kv}}{\partial PVA} = \frac{\partial B_{Kt}}{\partial PVA} + \frac{\partial B_{Kv}}{\partial PVA}$$

El primer término es igual a:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial B_{Kt}}{PVA} &= \frac{-\%_{preñez} * (PN - PVA * 0,07) * C_2 * 0,023}{\partial PVA} \\
&= \%_{preñez} * 0,07 * C_2 * 0,023 \\
&= 0,75 * 0,07 * 0,74 * 0,023 \\
&= 0,00089 \frac{\$}{kg}
\end{aligned}$$

Por su parte, el segundo término es:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial B_{Kv}}{PVA} = \\
&= \frac{\partial (\%d1serv + \%dvref) * PVA * (\$kv - C_5) - (\%d1serv + \%dvref) * PVA * C_6}{\partial PVA} \\
&= (\%d1serv + \%dvref) * (\$kv - C_5) - (\%d1serv + \%dvref) * C_6
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= (0,028 + 0,12) * (50 - 1,05) - (0,028 + 0,12) * 31 \\
&= 2,7 \frac{\$}{kg}
\end{aligned}$$

Y reuniendo ambos resultados:

$$\rho_{PVA} = \frac{\partial B_{Kt}}{\partial PVA} + \frac{\partial B_{Kv}}{\partial PVA} = 0,00089 + 2,7 = 2,70089 \frac{\$}{kg}$$

3.1.4.2. Expresiones genéticas descontadas

Las ponderaciones económicas obtenidas en el apartado anterior reflejan la importancia de los diferentes caracteres sobre el sistema de producción definido. Para evaluar el impacto que los reproductores candidatos a la selección tendrían sobre este beneficio, sin embargo, es necesario corregir estas ponderaciones por las expresiones genéticas descontadas, *EGD*. La *EGD* de un carácter se define como la expresión del mismo en la progenie de un reproductor, descontando al momento en que se inicia la selección (Mc Clintock y Cunningham, 1974). Como el índice desarrollado en el presente trabajo tiene como finalidad la selección de toros para rodeos de cría, se tomó como referencia para el cálculo de las *EGD* las ecuaciones para toros terminales publicadas por Amer et al. (2001) y adaptadas por Sack (2019). Las mismas se detallan a continuación.

Peso al nacimiento

$$EGD_{PN} = 0,5$$

Peso al destete

$$\begin{aligned}
EGD_{PD} &= 0,5 \times s_1 \times \left(\frac{1}{1+r} \right)^{t_1} \\
EGD_{PD} &= 0,5 * 0,95 * \left(\frac{1}{1+0,048} \right)^{0,5} \\
EGD_{PD} &= 0,46
\end{aligned}$$

Aquí:

s_1 = pérdidas nacimiento-destete (5%)

t_1 = tiempo en años hasta destete (0,5 años)

r = es la tasa de interés de plazos fijos en pesos al día 11/09/2019. Asumida en 58% anual

Peso de vaca adulta

$$EGD_{PVA} = 0,5 \times s_2 \times \%rep \times \left(\frac{1}{1+r} \right)^{t_2}$$

$$EGD_{PVA} = 0,5 \times 0,85 \times 0,2 \times \left(\frac{1}{1+0,58} \right)^4$$

$$EGD_{PVA} = 0,014$$

Donde:

s_2 = pérdidas nacimiento-adulthood (15%)

t_2 = tiempo en años hasta la edad adulta (4 años)

r = es la tasa de interés de plazos fijos en pesos al día 11/09/2019. Asumida en 58% anual

Cuadro 10. Valores económicos de los caracteres que integran el índice

Carácter	Ponderación (ρ)	EGD	Valor económico (e)
Peso al destete	32,5	0,46	14,95
Peso al nacimiento	-0,013	0,5	-0,0065
Peso de vaca adulta	2,70089	0,014	0,04

Referencias: EGD = expresiones genéticas descontadas.

3.1.5. Índice económico de selección

Con todos los resultados se postula el siguiente índice económico de selección para el núcleo cooperativo:

$$IE\$ = \hat{A}_{PD_\alpha} * 14,95 - \hat{A}_{PN_\alpha} * 0,0065 + \hat{A}_{PVA_\alpha} * 0,04$$

Este índice económico de selección combina las predicciones de los valores de cría de cualquier reproductor (α) para los tres caracteres que integran el objetivo de selección de acuerdo a las especificaciones propias del sistema de producción que caracterizan al área de estudio. Nótese que reúne en un solo valor los premios y castigos otorgados a cada candidato a la selección de acuerdo a su superioridad o inferioridad en cada carácter componente. Los resultados han puesto prácticamente todo el énfasis en el peso al destete, cuyo peso relativo es mayor al 99% para este índice.

3.2. Respuesta a la selección y resultados del programa

3.2.1. La cooperativa en marcha

La Figura 3 esquematiza la cooperativa de mejoramiento genético planteada para el área de estudio, con sus seis miembros vinculados entre sí y con el núcleo a través del nodo facilitador (anillo rojo). En cada ciclo productivo, todos los miembros cooperantes ceden al núcleo dos de sus toritos al momento del destete (entre abril y mayo, cuando los terneros tienen entre 5 y 6 meses de edad). Estos toritos serán candidatos a integrar el banco de semen. El criterio de selección de estos toritos combina el promedio de los valores del índice económico de sus padres y su peso al destete en relación a sus contemporáneos (selección intra-herd). También se prevé una inspección fenotípica. En este proceso de preselección cada cooperante se apoya en el nodo facilitador que es quien contribuye en la recolección de la información y la selección al momento del destete.

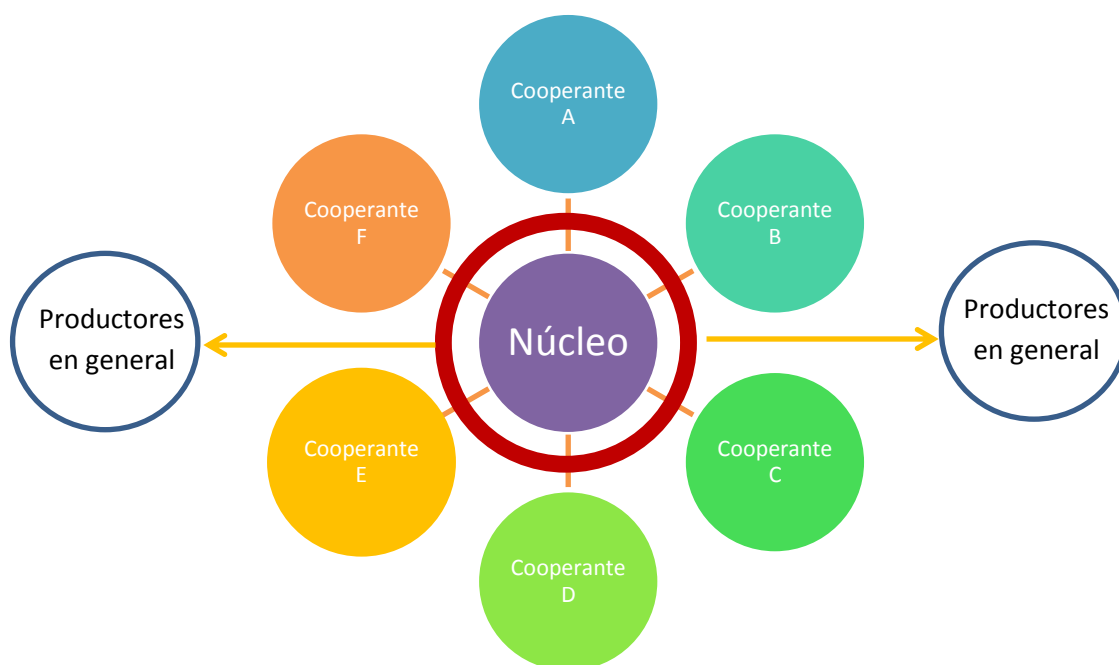


Figura 3. Estructura propuesta para la cooperativa de mejoramiento genético

Una vez en el núcleo, los toritos son criados y se les realiza un seguimiento exhaustivo que consiste en registros mensuales de parámetros de crecimiento y desarrollo. Los toritos son criados hasta los 16-18 meses de edad (febrero-marzo), momento en el que se les realiza una prueba de calidad seminal y aptitud reproductiva. Aquellos que pasen dicha prueba se les extraerán semen para una prueba de progenie de otoño en los campos de los cooperantes, que deberán reservar parte de sus vientres para la misma.

Las pruebas de progenie son un método de selección ampliamente utilizado en mejora animal. Para este caso en particular, la prueba de progenie aportará datos de la descendencia de cada uno de los toritos preseleccionados, que conjuntamente con los

datos propios y de sus progenitores formarán la base de datos para la evaluación genética. Una de las actividades del núcleo involucra ejecutar anualmente una evaluación genética mediante metodología BLUP (Henderson, 1984) con los datos colectados. Los resultados de la evaluación genética serán los valores de cría predichos para los tres caracteres que integran el índice económico. Combinando estas predicciones con los valores económicos se computará el IE\$ de cada torito y, a partir de este criterio, se realizará la selección final para determinar cuál de los candidatos ingresará al banco de semen.

Un tema no menor es determinar el número óptimo de toritos que ingresarán a la prueba de progenie y que luego serán los padres de una población o rodeo general. Para sistemas de prueba de progenie se recomienda un número mínimo de entre 8 a 12 toros por generación para garantizar respuestas genéticas altas y al mismo tiempo aliviar la preocupación sobre la endogamia (Goddard et al, 1990). Por este motivo, se estableció que cada cooperante aportará anualmente dos toritos candidatos. Por supuesto, el núcleo deberá monitorear continuamente la tasa de consanguinidad y otros parámetros poblacionales.

Para la prueba de progenie se asignará a cada torito alrededor de 25 vientres de distintos rodeos, asignando un número determinado de pajuelas de cada toro por cooperante, para que, en función de los índices de procreo, se puedan destetar al menos 20 terneros por padre testado. La cantidad de vientres destinados a la prueba de progenie por cada cooperante se presenta en el Cuadro 11 y su valor es igual a la proporción de vientres que aporta a la cooperativa.

Cuadro 11. Superficies y número de vientres de cada cooperante

	Superficie	Vacas totales		Vacas PP	Vacas RG	Terneros destete	Machos destete
	ha	cab	%	cab	cab	cab	cab
Coop. A	2.500	111	12	36	75	51	25
Coop. B	2.750	122	13	39	83	56	28
Coop. C	3.000	133	14	42	91	62	31
Coop. D	5.000	221	24	72	149	100	50
Coop. E	4.200	186	20	60	126	85	42
Coop. F	3.700	164	17	51	113	77	40
TOTAL		937	100	300	637	431	216

Referencias: cab = cabezas; PP = prueba de progenie; RG = rodeo general.

El protocolo de inseminación a utilizar tanto en la prueba de progenie como en los servicios del rodeo general será el utilizado por investigadores de INTA La Rioja para establecimientos ganaderos en los Llanos de La Rioja (Figura 4). El mismo consiste en IATF, re-sincronización e IATF. El uso de IATF constituye una herramienta clave para la diagramación de apareamientos y la minimización de la consanguinidad de los rodeos. Los trabajos realizados en establecimientos del sur de la provincia muestran

resultados alentadores con porcentajes de preñez superiores a 80% (Brunello, 2018, comunicación personal).

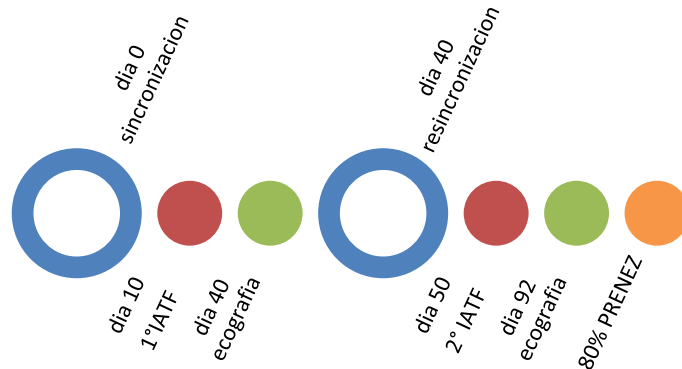


Figura 4. Secuencia de protocolo de IATF + IATF

Finalizada la prueba de progenie y medida la descendencia de los toritos testeados, los datos se integrarán a la base para la evaluación genética y se procederá al cómputo de los IE\$. Se asume un % de descarte al momento del ingreso al banco de semen de 15%. Para el cálculo de la respuesta a la selección, se asumirá que diez de los toros testeados ingresarán al banco de semen, reemplazando toros de cohortes anteriores. En la práctica, la cooperativa podrá decidir en cada ciclo qué toros se incorporarán y cuáles dejarán el banco de semen en función de los valores del índice económico. Finalmente, el núcleo extraerá semen de los toros del banco para realizar las inseminaciones de primavera de los vientres de los establecimientos cooperantes reiniciando el ciclo. La Figura 5 esquematiza la secuencia de eventos aplicada al caso de estudio.

A partir de este valor de $p\%$ e ingresando en la tabla de intensidades de selección basada en los percentiles de la distribución Normal truncada obtenemos una intensidad de selección $i = 2,097$. Como la intensidad de selección es una medida estandarizada del diferencial de selección, carece de unidades.

Variabilidad genética

La variabilidad genética se cuantifica mediante el desvío estándar aditivo, σ_A . Para estimarlo se tomaron datos históricos de peso al destete provenientes de distintos rodeos experimentales de la EEA La Rioja y se asignaron al azar entre los diferentes cooperantes. Luego, se computaron estadísticos descriptivos de estos datos (Cuadro 12). El desvío estándar aditivo se obtuvo multiplicando el desvío estándar fenotípico del carácter por la raíz cuadrada de la heredabilidad, estimada en 0,3, un valor típico para peso al destete.

Cuadro 12. Estadísticos descriptivos para peso al destete

Carácter	N	Media (kg)	DS	h^2	σ_A
Peso destete	216	149	26,4	0,3	14,4

Referencias: DS = desvío estándar muestral; h^2 = heredabilidad; σ_A = desvío estándar aditivo.

Exactitud

El criterio de selección de este programa de mejora es el índice económico y su precisión está condicionada con la exactitud con la que se predice el mérito genético para peso al destete que, a su vez, está fuertemente determinado por la prueba de progenie. De hecho, en este programa la prueba de progenie está particularmente pensada para garantizar decisiones de selección confiables y, al mismo tiempo, aumentar la tasa de progreso genético.

La exactitud aumenta a mayor cantidad de hijos evaluados, pero el incremento no es constante sino que sigue la ley de los rendimientos decrecientes. Por otro lado, el número de vacas destinadas a la prueba de progenie constituye una restricción, ya que, en este esquema, las vacas que se destinan a la prueba no producen terneros candidatos a la selección lo cual afecta la intensidad de selección. En la búsqueda de un punto de equilibrio entre ambas medidas, entonces, se determinó que un número de 20 hijos probados por toro sería recomendable para el programa propuesto. Con esta cifra y una heredabilidad de 0,3 para el carácter peso al destete, obtendríamos una exactitud del 79%.

Intervalo generacional

El intervalo generacional es el tiempo requerido para remplazar una generación. Para el programa aquí propuesto, correspondería a la edad promedio de los toros que integran el banco de semen. Pero además hay que considerar la edad promedio a la que se

reemplazan las vacas del rodeo general. Así, el intervalo generacional se dividió en sus dos componentes, el intervalo generacional de machos (L_m) y el intervalo generacional de hembras (L_h).

Los toritos selectos al formar parte del banco de semen estarán ingresando al mismo con una edad aproximada de 30 a 33 meses de edad (2,5 años) momento en el cual remplazarían a sus progenitores. La Figura 6 representa la secuencia de eventos desde los servicios que dan origen a los candidatos a la selección hasta su ingreso definitivo al banco de semen.

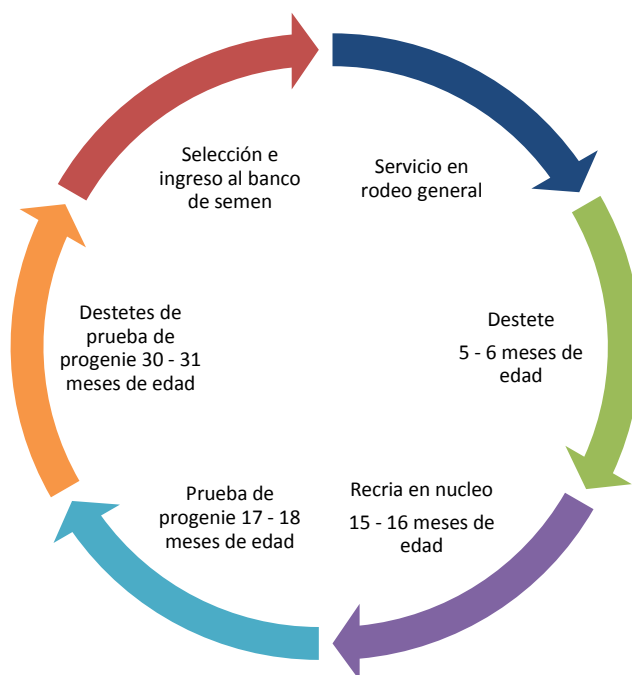


Figura 6. Secuencia de eventos y edades hasta el ingreso definitivo de los toros selectos al banco de semen

Por su parte, el intervalo generacional de hembras se obtuvo a través del promedio ponderado de las distintas edades de los vientres de los rodeos generales de los cooperantes (Cuadro 13). El intervalo generacional de hembras es $L_h = 5,76$ años.

Cuadro 13. Estructura etaria en los rodeos de los cooperantes

	EDADES							TOTAL
	3	4	5	6	7	8	9	
N (cabezas)	117	96	92	88	85	81	78	736
Proporción	0,18	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	1
Edad×proporción	0,55	0,60	0,72	0,83	0,93	1,02	1,10	5,76

Respuesta a la selección anual

Ya con todos los componentes de la ecuación de la respuesta a la selección, se procedió al cálculo del progreso genético anual que generaría el programa de mejoramiento de núcleos abiertos en términos del peso al destete:

$$R = \frac{i \times Exa \times \sigma_A}{L_m + L_h}$$

$$= \frac{2,097 \times 0,79 \times 14,4}{2,5 + 5,76}$$

$$= 2,9 \text{ kg/año}$$

La respuesta a la selección obtenida por año sería de alrededor de 3 kg extra de peso al destete una vez que el programa entre en régimen. En el Cuadro 14 se proyecta este progreso una generación. En ese tiempo, se esperaría pasar de un peso al destete promedio de 150 kg a un nivel alrededor de los 165 kg.

Cuadro 14. Proyección del progreso productivo esperado de la implementación del programa de núcleos abiertos durante una generación

	PESOS AL DESTETE					
	SI	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Coop. A	165	168	171	174	177	180
Coop. B	162	165	168	171	174	177
Coop. C	148	151	154	157	160	163
Coop. D	135	138	141	144	147	150
Coop. E	147	150	153	156	159	162
Coop. F	139	142	145	147	150	153
PROMEDIO	149	152	155	158	161	164

Referencias: SI = situación inicial.

De acuerdo a la ecuación de beneficio por venta de terneros (B_{Kt}) obtenida previamente:

$$B_{Kt} = (\%Dtt - \%_{reph} - \%_{repm}) * PD * (\$_{kt} - C_1) - (\%preñez) * (PN - PVA$$

$$* 0,07) * C_2 * 0,023 - (C_3 + C_4)$$

y asumiendo las siguientes constantes económicas y productivas:

$\% Dtt = 74\%$

$\%reph = 20\%$

$\%repm = 2,5\%$ (para repasos)

$PD =$ ver Cuadro 14

$\$kt = \70

$C_1 = \$1,63$

$\% preñez = 80\%$

$PN = 29$ kg

$PVA = 400$ kg

$C_2 = \$2900$

$C_3 + C_4 =$ ver Cuadro15,

los incrementos cuantitativos del peso al destete en el tiempo se reflejarían también en un beneficio económico (Cuadro 16). El beneficio proyectado por la venta de terneros respecto a la situación inicial promedia un 2,2% anual y totaliza, al cabo de 5 años, un beneficio acumulado del 10,6%.

Cuadro 15. Costos de sanidad y mano de obra por cooperante

COOPERANTE	$(C_3 + C_4)$
Cooperante A	557
Cooperante B	523
Cooperante C	495
Cooperante D	373
Cooperante E	409
Cooperante F	439

Cuadro 16. Evolución del beneficio neto por venta de terneros (en \$/vientres) y margen bruto (\$/año) segmentado por cooperante

	Beneficio por venta de terneros						Margen bruto	
	SI	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	SI	Año 5
Coop. A	5.247	5.353	5.459	5.564	5.670	5.776	582.462	641.087
Coop. B	5.176	5.281	5.387	5.493	5.598	5.704	631.444	695.880
Coop. C	4.711	4.816	4.922	5.028	5.133	5.239	626.540	696.785
Coop. D	4.375	4.481	4.586	4.692	4.798	4.903	966.895	1.083.617
Coop. E	4.762	4.867	4.973	5.079	5.184	5.290	885.660	983.898
Coop. F	4.450	4.556	4.661	4.767	4.872	4.978	729.789	816.407

Referencias: SI = situación inicial.

4. DISCUSIÓN

La escala y el grado de organización de los productores de carne bovina típicos de la región de Los Llanos, en la provincia de La Rioja, Argentina, dificultan su participación en programas de mejoramiento genético animal tradicionales. Por otro lado, las estrategias de promoción de razas exóticas, muchas veces promovidas desde ámbitos estatales, han fracasado porque los animales y su descendencia rara vez se adaptan bien a las condiciones locales. En la gran mayoría de los casos, las razas carniceras tradicionales han sido seleccionadas para desempeñarse en sistemas de altos insumos o, en el mejor de los casos, en otros ambientes. Frente a este escenario, es interesante poner la mirada en los programas alternativos que se han desarrollado para sistemas de producción de pequeña escala y bajos insumos en pequeños rumiantes (Kosgey y Okeyo, 2007; Kosgey et al., 2006; Parker, 1970). Existe poca información acerca de la aplicación de este tipo de programas en sistemas de cría bovina, la principal actividad ganadera de la región.

Con esta problemática en mente, en el presente trabajo se modeló una cooperativa de mejoramiento genético con un núcleo abierto y centralizado, al cual contribuirían los productores cooperantes cediendo los toritos que determine el programa. Una vez en el núcleo, estos toritos serán evaluados mediante una prueba de progenie y los más destacados de la cohorte de acuerdo al objetivo de selección serán elegidos para integrar un banco de semen que se utilizará para inseminar los rodeos de los productores. Los programas cooperativos involucran estrategias comunitarias que surgen de las necesidades de los productores y se apalancan en instituciones de I+D, en general, gubernamentales.

Este vínculo es clave, ya que estos programas demandan un gran apoyo técnico, económico y organizativo en sus etapas iniciales, según destacan Mueller et al. (2015), quienes han sistematizado y discutido experiencias de programas de mejoramiento genético animal comunitarios a lo largo de todo el mundo. Este último trabajo y la revisión de experiencias de núcleos abiertos en ovinos presentada por Kosgey et al. (2006) han inspirado las bases de la cooperativa diseñada en esta tesis.

Una vez diseñado el programa cooperativo, se lo desarrolló en detalle para el caso de los productores ganaderos de la región de Los Llanos. Para identificar a este estrato de productores, se realizó en primer lugar una caracterización de la región, que contempló aspectos no sólo de índole productivos y económicos, sino también sociales y culturales. Esta caracterización se basó en la escasa y desactualizada bibliografía disponible para la región (e.g., Salomón, 2003; CNA, 2008) y fundamentalmente en la experiencia propia del autor en su rol de técnico en la estación del INTA EEA Chamental. Al momento de escribir estas líneas aún no estaban disponibles los datos del Censo Nacional Agropecuario 2018, que seguramente contribuirán a actualizar la información. El estrato definido estuvo caracterizado por productores con establecimientos cuya superficie varía en un rango entre las 2.500 y las 5.000 hectáreas, que aplican o pueden aplicar las tecnologías mínimas y necesarias para el éxito de un programa de mejoramiento genético como el propuesto y que ya presentan fuertes vínculos con organizaciones o instituciones públicas asociadas al sector agropecuario, en particular, el INTA y la Secretaría de Agricultura Familiar.

A continuación, se procedió a caracterizar el sistema de producción, identificando y cuantificando la estructura de ingresos y costos, las vías de comercialización y los

índices productivos, entre otros parámetros. Una vez más, la tarea estuvo enriquecida por la experiencia y vínculo del INTA con estos productores. Como es habitual para los sistemas de cría bovina, la principal fuente de ingresos está asociada a la venta de terneros al destete seguido de la venta de vacas de refugio (62% y 38% de los ingresos, respectivamente). El siguiente paso fue asociar esta estructura de ingresos y costos a los caracteres económicamente relevantes para expresar el objetivo de selección en términos de una ecuación de beneficio (Ponzoni y Newman, 1989). La ecuación de beneficio que se desarrolló para este trabajo estuvo basada en el índice económico presentado por Sack (2018) para la Cuenca del Salado, Argentina. A diferencia de aquel índice, cuyo beneficio estaba expresado por hectárea, que es la forma en la que el productor está acostumbrado a definir su margen bruto, el índice aquí propuesto se expresó por vientre. El objetivo de esta decisión fue intentar independizar el tamaño de las vacas, un carácter sobre el que se puede ejercer presión de selección, de una carga fija. Para explicarlo mejor, si los beneficios se expresan por hectárea los costos de alimentación se deben llevar a esta unidad a través de una carga fija. Pero si la selección cambia el peso promedio de los vientres, la carga, expresada en equivalente vaca, no podría quedar fija. En cambio, al expresar el beneficio por vientre nos liberamos de la necesidad de establecer una carga fija. Desafortunadamente, este problema fue parcialmente resuelto porque el costo de pastaje se computó en función de un tamaño óptimo de unos 400 kg. En otras palabras, se podrían llevar las unidades de la ecuación de beneficio del sistema estudiado de pesos por kg de vaca a pesos por hectárea simplemente multiplicando el valor por una receptividad fija de unas 23 hectáreas para una vaca de 400 kg de peso vivo. Esto implica que la ecuación de beneficio tiene valor en la medida que no cambie sustancialmente el peso promedio de los rodeos.

La ecuación de beneficio se expresó en función tres caracteres clave: el peso al nacimiento, asociado a los costos extra que pueden acarrear problemas al parto, el peso al destete y el peso de la vaca adulta, ambos directamente vinculados a los ingresos. En comparación con otros índices económicos publicados en la literatura, el número de caracteres definido fue acotado (véase, por ejemplo, el índice definido por Pravia et al., 2014, para sistemas de cría y engorde pastoriles en el Uruguay). Por otro lado, los tres son caracteres vinculados al crecimiento y desarrollo (en otras palabras, de naturaleza productiva), cuando en sistemas de producción de cría bovina está bien establecido que los caracteres de fertilidad son más determinantes de la rentabilidad, aunque menos heredables. Una referencia ineludible a este último punto es el trabajo de Trenkle y Willham (1977), donde se presenta la muy citada importancia económica relativa de 5:1 entre caracteres reproductivos y productivos. Sin embargo, la elección de caracteres para un índice económico viene de la mano de la posibilidad de evaluar genéticamente a los reproductores. Una evaluación efectiva, por su parte, requiere una buena cantidad y calidad de datos, en especial para caracteres de baja heredabilidad. Para una población en la que no se dispone de una evaluación genética en curso, el primer paso es coleccionar información fácil y relativamente económica de tomar. En este sentido, los caracteres de crecimiento son infaltables para un índice económico de selección en cría. Luego, el objetivo de selección podrá ir redefiniéndose en la medida que el núcleo se consolide y pueda incorporar nuevos caracteres a su acervo, tal y como ocurre con los programas de mejoramiento genético tradicionales. Un primer carácter que podría entrar en esta categoría es la circunferencia escrotal, que se sabe correlaciona favorablemente con la precocidad sexual (Lunstra et al., 1978). Sin embargo, se necesitaría primero recabar alguna información local que cuantifique esta relación.

A partir de la ecuación de beneficio, se obtuvieron los valores económicos de los tres caracteres, multiplicando las correspondientes ponderaciones económicas, que representan el beneficio adicional generado por un incremento unitario en el valor del carácter, por las expresiones genéticas descontadas, que reflejan la contribución de los reproductores a este beneficio marginal. El carácter de mayor impacto en el índice económico de selección fue el peso al destete, cuyo valor económico relativo fue determinante. Como es de esperar, este resultado estuvo directamente asociado a cómo se definió la ecuación de beneficio. En particular, es importante destacar que los costos de alimentación se afectaron exclusivamente a los vientres, lo cual limita el beneficio de la venta de las vacas de refugio y desalienta un énfasis excesivo en un mayor peso adulto. Esto último es importante porque en esta región la disponibilidad de forraje en calidad y cantidad es una limitante en ciertos momentos del año.

Los valores económicos relativos de los tres caracteres fueron similares a los obtenidos por Sack (2008) para sistemas extensivos en la Cuenca del Salado. A diferencia de aquel trabajo, donde el incremento de costos debido a posibles distocias se asoció directamente a la facilidad de parto, aquí se trabajó con el peso al nacimiento. En este caso hay un impacto negativo, aunque marginal, de aumentos en el peso al nacimiento sobre el beneficio del sistema y, en consecuencia, el índice económico tenderá a castigar la valoración positiva de los reproductores para este carácter. De todas maneras, este efecto puede verse contrarrestado por la valoración para peso al destete, que tiene un impacto más determinante sobre el índice y, por correlación genética, puede acarrear con el tiempo aumentos en todos los pesos. Esto eventualmente podría llevar a una reconsideración de la ecuación de beneficio.

Por otro lado, para calcular las expresiones genéticas descontadas se adaptaron las ecuaciones de Amer et al. (2001, Apéndice A.3) para toros terminales. Estas expresiones manifiestan el aporte directo de un toro padre al producto que comercializa el sistema y son más importantes para los caracteres que se expresan antes en el tiempo (pesos al nacimiento y al destete) que para los caracteres que se expresan tardíamente en la vida, como el peso adulto. Las expresiones genéticas para toros terminales son apropiadas para el peso al destete porque la mayoría de los terneros del sistema se comercializa. Pero para sopesar la contribución de los padres al tamaño de vaca adulta quizás sería más apropiado considerar las expresiones genéticas para hembras de reemplazo (véase el Apéndice A.2 de Amer et al., 2001). Asimismo, estas ecuaciones podrían considerarse para incluir en el índice económico de selección el peso al destete materno, un carácter que se relaciona con la performance al destete de los nietos de un reproductor, hijos de sus hijas. Los componentes del índice económico de selección propuesto pueden y deben estar sujetos a cambios y ajustes en la medida que madure y se consolide el programa de mejora genética.

Finalmente, para evaluar el beneficio global esperado de implementar un programa como el propuesto se utilizó como herramienta el cálculo de la respuesta a la selección, cuya teoría puede consultarse en textos clásicos de genética cuantitativa como el de Falconer y Mackay (1996). La teoría permite estimar la tasa de progreso genético que podría obtenerse para un carácter ejerciendo presión de selección sobre una población a partir del cálculo estimativo de los factores que la determinan: la selectividad, la precisión del criterio de selección, la variabilidad genética y el intervalo generacional. A partir del esquema de mejoramiento que se plantea para la cooperativa se obtuvieron valores para estos factores y con ellos se estimó que, una vez en régimen, el programa podría generar un progreso de 2,9 kg/año para peso al destete, el carácter de mayor impacto sobre el beneficio. Este sería un progreso del 1,9% respecto a la media

del carácter, un valor dentro del rango teórico de entre 1,4% y 2,6% que recoge Smith (1984) a partir de resultados experimentales para caracteres productivos en bovinos.

Este progreso genético conllevaría, a su vez, un aumento anual del 2,2% en los márgenes brutos de los cooperantes, acumulado al 10,6% al cabo de 5 años, tiempo aproximado de una generación. Este análisis no contempla, desde ya, los costos de implementación ni gastos de funcionamiento del núcleo cooperativo. Estos gastos razonablemente podrían cubrirse con otros ingresos. En particular, los gastos del programa deberían cubrirse con la venta anual de los toros que han quedado descartados del proceso de selección, incluyendo aquellos que se liberan por el recambio del banco de semen, y la venta de la producción excedente de pajuelas a productores de la región. A estos beneficios económicos debe sumársele el beneficio más intangible de la conservación y promoción de los recursos zoogenéticos locales. Como bien se señala en la guía de FAO (2010) sobre estrategias de mejoramiento para el manejo sustentable en agricultura y ganadería, estos recursos contribuyen al desarrollo, a la seguridad, a la soberanía alimentaria y a la disminución de la pobreza de las regiones donde se los aplica.

A modo de cierre, es importante destacar que el programa cooperativo de núcleos abiertos propuesto puede ser aplicado a productores de otras regiones del país y del mundo, ya que los sistemas de producción ganaderos bovinos de pequeña escala y bajos insumos son la norma en muchos rincones del planeta. Como se ha señalado en otros pasajes del texto, una vez consolidado un programa como el propuesto es posible pensar en enriquecerlo sumando nuevos caracteres de importancia económica, ajustando los cálculos de los valores económicos y mejorando el esquema de mejora, por ejemplo, aplicando presión de selección sobre la vía de madres, una estrategia no contemplada en este trabajo. Asimismo, una interacción fluida entre los cooperantes y el nodo facilitador alentará la adopción de nuevas prácticas de manejo, biotecnologías reproductivas y tecnologías de procesos e insumos que permitirán incrementar aún más el progreso genético y, a través de él, los beneficios de cada uno de los cooperantes.

5. CONCLUSIÓN

En la presente tesis se diseñó un programa de mejoramiento genético animal cooperativo de núcleos abiertos para sistemas de producción de cría bovina en regiones donde predominan productores de pequeña escala y de bajos insumos. Aplicado al estrato de pequeños productores ganaderos de la región de Los Llanos, provincia de La Rioja, Argentina, se estimó que el programa reportaría en un horizonte a cinco años un incremento del 10,6% en los márgenes brutos, producto de un cambio significativo en los pesos al destete promedio por selección genética. Los resultados obtenidos son alentadores en cuanto a la factibilidad de un proyecto que permitiría incrementar la productividad de los productores ganaderos de los llanos riojanos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Amer, P. R., Simm, G., Keane, M. G., Diskin, M. G. y Wickham, B. W. (2001). Breeding objectives for beef cattle in Ireland. *Livest. Prod. Sci.*, 67: 223-239.
- Arquilla, J. & Rondfelt, D. 2001. Network and Netwar: The Future of terror, crime and militancy. *RAND Corporation, EE.UU.*
- Bichard M. 1971. Dissemination of genetic improvement through a livestock industry. *Anim. Prod.* 13: 401–411.
- Bourdon, R. 2000. *Understanding Animal Breeding*. 2nd Edition. Prentice-Hall, Inc.
- FAO. 2010. Breeding Strategies for Sustainable Management of Animal Genetic Resources. *FAO Animal Production and Health Guidelines.No. 3, Rome, Italy.*
- Ferrando, C.A. & Namur, P. 1982. Resultados parciales obtenidos en la raza Criolla Argentina en el Campo “Las Vizcacheras” (Unidad La Rioja-INTA). *Rev. Arg. Prod. Anim.* 4: 85–89.
- Ferrando, C.A. 2008. Evaluación forrajera expeditiva de establecimientos ganaderos de la región semiárida argentina. *Curso taller INTA EEA La Rioja.*
- Ferrando, C.A., Avila R., Brunello G., Vera, C. & Paz J. 2016 Engorde de vacas y vaquillonas de rechazo, una estrategia para diversificar e incrementar los ingresos en los rodeos de cria bovina en La Rioja. *Cartilla institucional INTA EEA la Rioja*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_engorde_de_vacas_y_vaquillonas_como_una_estrategia_de_diversificacion.pdf
- Falconer, D.S. & Mackay, T.F.C. 1996. *Introducción a la Genética Cuantitativa*. 4^a Edición. Editorial Acribia S.A.

- Gizaw, S., Getachew, T., Goshme, S., Valle-Zarate, A., Van Arendonk, J.A.M., Kemp, S., Mwai, A.O. & Dessie, T. 2014. Efficiency of selection for body weight in a cooperative village breeding program of Menz sheep under smallholder farming system. *Animal* 8: 1249–1254.
- Goddard, M.G. & C. Smith, C. 1990. Optimum Number of Bull Sires In Dairy Cattle Breeding. *J. Dairy Sci.* 73: 1113-1122.
- Guevara J., Grünwaldt E., Estevez O., Bisigato A., Blanco L., Biurrun F.N., Ferrando C., Chirino C., Morici E., Fernández B., Allegretti, L. & Passera, C. 2009. Range and livestock production in the Monte Desert, Argentina. *J. Arid Environ.* 73: 228-237.
- Harris, D. L. 1970. Breeding for Efficiency in Livestock Production: Defining the Economic Objectives. *J. Anim. Sci.* 30: 860–865.
- Hazel, L.N. 1943. The genetic bases for constructing selection indexes. *Genetics* 28: 476–490.
- Henderson, C. R. 1984. *Applications of linear models in animal breeding*. University of Guelf, Guelf, Ontario, Canadá.
- William G. Hill (1974). *Prediction and evaluation of response to selection with overlapping generations*. *Animal Production*, 18, pp 117-139 doi:10.1017/S0003356100017372
- INDEC. 2008. *Censos Nacionales Agropecuarios 2008*. Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina, Buenos Aires. www.indec.mecon.gov.ar.
- James, J.W. 1977. Open nucleus breeding systems. *Anim. Prod.* 24: 287–305.

- Kosgey, I.S. & Okeyo, A.M. 2007. Genetic improvement of small ruminants in low-input, smallholder production systems: technical and infrastructural issues. *Small Rumin. Res.* 70: 76–88.
- Kosgey, I.S., Baker, R.L., Udo, H.M.J. & Van Arendonk, J.A.M. 2006. Successes and failures of small ruminant breeding programs in the tropics: a review. *Small Rumin. Res.* 61: 13–28.
- Laster, D.B., Glimp, H.A., Cundiff, L.V. & Gregory, K.E. (1973). Factors affecting dystocia and the effects of dystocia on subsequent reproduction in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 36: 695-705.
- Lunstra, D.D., Ford, J.J. & Echternkamp, S.E. 1978. Puberty in beef bulls: hormone concentrations, growth, testicular development, sperm production and sexual aggressiveness in bulls of different breeds. *J. Anim. Sci.* 46: 1054–1062.
- McClintock, A. & Cunningham, E. 1974. Selection in dual purpose cattle populations: Defining the breeding objective. *Anim. Sci.* 18: 237-247.
- Morello, J.H., Protomastro, J., Sancholuz, L.A. & Blanco, C. 1985. *Estudio macroecológico de los Llanos de la Rioja*. Serie del cincuentenario N° 5; 1-53. Administración de Parques Nacionales, Buenos Aires.
- Mueller, J.P. 1985. *Implementación de planes de mejoramiento genético en ovinos. ii. Estructura poblacional y sistemas de apareamiento*. INTA Bariloche, Comunicación Técnica N° 7, Área Producción Animal.
- Mueller, J.P., Rischkowsky, B., Haile, A., Philipsson, J., Mwai, O., Besbes, B., Valle Zárate, A., Tibbo, M., Mirkena, T., Duguma, G., Soelkner, J. & Wurzinger, M. 2015. Community-based livestock breeding programmes: essentials and examples. *J. Anim. Breed. Genet.* 132: 155–168.

- Mueller J.P. 2018. *Aspectos teóricos en el diseño de pruebas de progenie*. Comunicación Técnica INTA EEA Bariloche Nro PA 744.
- Olivier, J.J., Moyo, S., Montaldo, H.H., Thorpe, W., Valle Zarate, A. & Trivedi, K.R. 2002. Integrating genetic improvement into livestock development in medium- to low-input production systems. In: *Proceedings of the Seventh World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, vol. 33, 19–23 August 2002, Montpellier, France, pp. 365–372.
- Parker, A.G.H. 1970. The New Zealand Romney development group. *Wool Tech. Sheep Breed.* 17: 19–25.
- Pravia, M.I., Ravagnolo, O., Urioste, J.I. & Garrick, D.J. 2014. Identification of breeding objectives using a bioeconomic model for a beef cattle production system in Uruguay. *Livest. Sci.* 160: 21-28.
- Ponzoni R. W. and S. Newman (1989). *Developing breeding objectives for australian beef cattle production*. *Animal Production*, 49, pp 35-47 doi:10.1017/S0003356100004232
- Rebelo Da Fonseca, G.E., Pruzzo, L., Maizon, D.O. & Mirande, S.L. 2000. Definición del objetivo económico de selección para un sistema de producción porcina en Argentina. *Prod. Sanid. Anim.* 15: 1-2.
- Salomon, J.H. 2003. *Diagnóstico socio-productivo (niveles de vida y producción) de los pequeños productores agropecuarios de la Provincia de La Rioja. Serie consultorías*. Ministerio de Economía y Producción Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos Dirección de Desarrollo Agropecuario PROINDER.
- Smith, C. 1984. Rates of genetic change in farm livestock. *Res. Dev. Agric.* 1: 79-85.

- Sölkner, J., Nakimbugwe H. & Valle Zarate A. 1998. Analysis of determinants for success and failure of village breeding programmes. In: *Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Armidale (Australia), 11–16 January 1998, 25, pp. 273– 280.
- Tessi J.M., Vera, D.O & Molina J.P. 2018. Margen bruto de un campo de cría bovina en los Llanos de La Rioja con manejo del pastizal. En: *VIII Congreso Nacional y IV Congreso del Mercosur de Pastizales Naturales*. Ediciones INTA.
- Trenkle, A. & Willham, R.L. 1977. Beef production efficiency. *Science* 198: 1009-1015.

7. ANEXO

A.1. Determinación de casos de partos con ayuda o distócicos

Para estimar el número esperado de partos distócicos en el establecimiento cooperante modelo se asumió que un rodeo que no presenta problemas es aquel cuyo promedio de peso al nacimiento (PN) representa el 7% del peso de vaca adulta (PVA). Laster et al. (1973) estimaron que por cada incremento de un kilo en el peso al nacimiento se incrementa un 2,3% las probabilidades de atención de partos. Entonces, utilizando los datos de procreo del establecimiento:

$$\begin{aligned} \text{casos distocia} &= (PN - PVA * 0,07) * 0,023 * N_{vacas} * \% \text{ paricion} \\ &= (29 - 400 * 0,07) * 0,023 * 156 * 0,75 \\ &= 2,69. \end{aligned}$$