

Artículo científico

Evaluación productiva y de emisiones de gases de efecto invernadero en dos sistemas de cría bovina contrastantes del Chaco Seco argentino**Production and greenhouse gas emissions evaluation in two contrasting bovine farming systems in the Argentine Chaco Seco**J.A. Nasca^{1*}; N. Banegas^{1,2}; F. García Posse¹; A. Martín^{1,2}; M. Della Rosa¹; A. Molina¹; P. Fernández^{1,3}¹ Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS) - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Chañar Pozo S/N, Leales (4113), Tucumán. *Email: nasca.jose@inta.gob.ar² Facultad de Agronomía y Zootecnia (FAZ) - Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Florentino Ameghino S/N, El Manantial (4105), Tucumán.³ Instituto De Ecología Regional (IER) - Consejo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICET). Horco Molle (4105), Tucumán.**Resumen**

El desafío actual de los sistemas bovinos del Chaco Seco está centrado en el incremento de la producción a través de la intensificación, sin la necesidad de expandir la frontera agropecuaria hacia ecosistemas naturales y disminuyendo las externalidades negativas. El objetivo de este estudio fue cuantificar la diferencia en la producción de peso vivo (PV) y en la intensidad de emisión de gases de efecto invernadero en dos módulos experimentales contrastantes de cría bovina en su nivel de intensificación, localizados en el Chaco Seco argentino. El trabajo se realizó en el Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (INTA), utilizando módulos experimentales y un modelo de simulación. Un módulo experimental se denominó Cría Pastoril (CrP) y se basó en una alimentación pastoril y una carga animal moderada (0,64 vacas/ha/año) para la zona. El otro se denominó módulo de Cría Intensiva (CrI), y utilizó un sistema de alimentación pastoril con apoyo de silaje de maíz como suplemento alimenticio para las vacas, y una carga animal elevada (1,66 vacas/ha/año). La producción de peso vivo fue 98 y 264 kg PV/ha/año para CrP y CrI respectivamente (Tukey; $p < 0,05$). No se encontraron diferencias significativas en la intensidad de emisiones, con valores de 16,5 y 16,0 kg CO₂ eq/kg PV producido para CrP y CrI respectivamente. El Chaco Seco es una región ganadera en desarrollo, pero con restricciones en la expansión de la superficie productiva, y este trabajo evidencia que es posible incrementar la producción ganadera regional y en paralelo disminuir la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: Cría bovina; Evaluación productiva; Gases de efecto invernadero; Chaco Seco.**Abstract**

The current challenge of the Chaco Seco beef cattle system is focused on increasing production through intensification, without expanding the agricultural frontier towards natural ecosystems and reducing externalities. The aim of this study was to quantify the difference in live weight (LW) productivity and in greenhouse gases emission intensity of two contrasting cow-calf modules differing in their intensification level. This work was carried out at the Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (INTA) using two experimental modules and a simulation model. The grazing cow-calf module (CrP) was based on a grazing system with a moderate stocking rate (0.64 cows/he/year). The intensive cow-calf module (CrI) used a grazing system, but supported by corn silage as supplement for cows, and a high stocking rate (1.66 cows/ha/year). Live weight production was 98 and 264 kg LW/ha/year for CrP and CrI respectively (Tukey; $p < 0.05$). Non-significant differences were found in the emission intensity, with values ranging from 16.5 and 16.0 kg CO₂ eq/kg LW produced for CrP and CrI respectively. The Chaco Seco is a developing cattle region but with restrictions in the expansion of the productive surface, and this work throws evidence that it is possible to increase regional livestock production and decrease greenhouse gas emissions intensity.

Keywords: Cow-calf; Productive evaluation; Greenhouse gasses; Chaco Seco.**Introducción**

La intensificación de los sistemas agropecuarios es una forma de incrementar la provisión de ali-

mentos a nivel global, reducir la expansión agropecuaria en ecosistemas naturales (Garnett *et al.*, 2013; Balmford *et al.*, 2018), y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por

Recibido: 16/03/2020; Aceptado: 19/06/2020.

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

unidad de producto (Oliveira Silva *et al.*, 2017). El Chaco Seco es una de las fronteras de deforestación más activas del mundo, siendo la ganadería uno de los principales propulsores (Gasparrri y Grau, 2009; Baumann *et al.*, 2017). En Argentina, esta problemática generó la zonificación de los bosques según el valor de conservación, como estrategia de ordenamiento del territorio (Fernández *et al.*, 2020). Esta zonificación restringe y regula la conversión de los bosques nativos en tierras con aptitud agrícola y ganadera. Estos cambios han repercutido sobre los sistemas ganaderos regionales, en donde la búsqueda de incrementos productivos ha generado la necesidad de intensificar los mismos, principalmente en áreas desmontadas. En este contexto, es necesario generar propuestas tecnológicas para la resolución de puntos críticos, como el uso de las pasturas implantadas, el manejo de pastizales y pasturas, la utilización de silajes en sistemas de alimentación intensivos (Ash *et al.*, 2015), la gestión y el control del impacto ambiental y estrategias para eficientizar los sistemas de cría bovina (Pordomingo, 2019).

Los sistemas de cría bovina son los sistemas más importantes de la región, con un gran potencial de crecimiento a expensas de una disminución de la brecha productiva (Fernández *et al.*, 2020), que se define como la diferencia entre la producción actual y la potencial. Cerrar dicha brecha productiva entre productores caracterizados por una gran variabilidad en la producción de carne, implica adoptar mejores decisiones de manejo integrando las tecnologías de insumos y procesos disponibles (Pacín y Oesterheld, 2015; González Fischer y Bilenca, 2020). La productividad media de los sistemas de cría de la región de estudio es de 10 kg PV/ha (FAO y NZAGRC, 2017). Estos bajos niveles de productividad influyen negativamente, entre otros factores, en la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero (Becoña *et al.*, 2014; Veyssset *et al.*, 2014; Alemu *et al.*, 2017).

En Argentina, los sistemas de cría aportan el 85 % de las emisiones GEI asociadas a la producción de carne bovina (FAO y NZAGRC, 2017). Los GEI provenientes de la ganadería son el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y el dióxido de carbono (CO₂), y tienen su origen en diferentes partes del sistema productivo (Faverín *et al.*, 2014). La intensidad de emisiones de los sistemas de cría del subtrópico argentino es de 52 kg CO₂ eq/kg PV (FAO y NZAGRC, 2017).

Estimaciones realizadas a partir de sistemas mo-

dales indican que la baja productividad y la elevada intensidad de las emisiones de los sistemas de cría regionales, están ligadas al diseño de los mismos y de la falta de una planificación táctica y estratégica (FAO y NZAGRC, 2017). En este sentido, es importante considerar y mejorar aspectos relacionados con la cantidad y calidad de alimentos consumidos por los animales y la eficiencia reproductiva de los rodeos como factores que permitirían reducir la intensidad de emisiones en los sistemas de cría (Beauchemin *et al.*, 2010; Beauchemin *et al.*, 2011).

La mayoría de los trabajos que analizan las emisiones GEI en sistemas pastoriles utilizan sistemas modales generados por consulta a expertos, siendo necesario abordar la problemática a partir de sistemas productivos reales (Becoña *et al.*, 2014).

El objetivo de este estudio fue cuantificar la diferencia en la producción de peso vivo y en la emisión de gases de efecto invernadero, en dos módulos experimentales contrastantes de cría bovina en su nivel de intensificación, localizados en el Chaco Seco argentino.

Materiales y métodos

Área de estudio

La evaluación se realizó en el Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS-INTA, 27°11'34.82"S, 65°14'47.28"O), situado en el Chaco Seco argentino, subregión de la Llanura deprimida salina de Tucumán (Figura 1).



Figura 1. Ubicación del Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido. En gris transparente la delimitación del Chaco Seco según Olson *et al.* (2001).

El clima es subhúmedo con una estación invernal seca bien definida (abril a octubre). El suelo es

un Haplustol fluvacuéntico de textura franco limosa, con un relieve subnormal. El estudio se realizó entre marzo de 2012 a abril de 2017 incluyendo 5 ciclos productivos de cría bovina. La precipitación promedio del periodo de estudio fue de 838 mm, con un coeficiente de variación interanual del 25 %. La temperatura media anual fue de 19 °C, con extremos de 25 °C en enero y 13 °C en julio. Los animales utilizados fueron manejados de acuerdo con las regulaciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) para asegurar el bienestar animal.

Diseño experimental

Se compararon dos sistemas de cría bovina con diferencias en las estrategias de alimentación y la carga animal, utilizando módulos experimentales que permiten representar adecuadamente la escala espacial y algunos aspectos de la complejidad de los sistemas productivos comerciales (Scott *et al.*, 2013). Las condiciones iniciales de los sitios en donde se instalaron los módulos fueron similares en topografía, tipo de suelo, historia de uso de la superficie asignada, de acuerdo a lo establecido por Murison y Scott (2013).

Un módulo experimental se denominó Cría Pastoril (CrP) y se basó en una alimentación netamente pastoril y niveles de carga animal moderada (0,6 vacas/ha/año) para la región de interés (Nasca *et al.*, 2015). El otro se denominó módulo de Cría Intensiva (CrI), el cual tuvo como objetivo evaluar alternativas de manejo no tradicionales para los sistemas de cría que permitan incrementar la producción del sistema. En este sentido, se implementó un sistema de alimentación pastoril con apoyo de silaje de maíz como suplemento alimenticio para las vacas, y una carga animal objetivo elevada (1,7 vacas/ha/año). La base forrajera para CrI fue de 55 has implantadas con *Chloris gayana* cv Finecut. El manejo del pastoreo en CrI consistió en permitir el consumo de la pastura en estado vegetativo, cuando la calidad nutricional de la misma es superior a la encontrada como pastura diferida. Durante el periodo invierno – primavera, cuando las tasas de crecimiento de las pasturas son bajas a nulas, se ofreció a las vacas silaje de maíz como único forraje. Para los ciclos productivos evaluados (2012-2017), el periodo de consumo de silaje de maíz fue de 130 ± 21 días.

El módulo pastoril (CrP) fue diseñado a partir de 20 años de información ganadera disponible del IIACS, buscando el mejor ajuste entre la carga

animal y la disponibilidad forrajera. Este módulo refleja las prácticas de manejo de establecimientos de la región más desarrollados tecnológicamente. La superficie total del mismo fue de 272 has, siendo la base forrajera *Chloris gayana* cv Finecut (50 % de la superficie) y campo natural (50 % de la superficie), caracterizado por la presencia de un estrato arbóreo poco denso, y un estrato herbáceo representado por *Cynodon dactylon* como especie naturalizada de valor forrajero. La vegetación nativa arbórea está constituida por especies como *Geoffroea decorticans*, *Zizyphus mistol*, *Sideroxylon obtusifolium*, *Celtis tala* y *Ruprechtia laxiflora*, entre otras. El estrato arbustivo se encuentra representado por *Braccharis juncea* y leguminosas del género *Acacia* (Banegas *et al.*, 2015).

En ambos módulos se utilizó Braford como raza representante de un biotipo animal. Los sistemas estudiados representan un recorte de un sistema de cría comercial, ya que solo consideran a las vacas como categoría permanente y a los teneros/as y toros, circunstancialmente, de acuerdo al momento del año. El período de apareamiento (servicio) en ambos rodeos fue de 90 días, comenzando el 1 de diciembre de cada año. Se utilizó un 5 % de toros. El diagnóstico de gestación se realizó en abril para todos los tratamientos. El criterio de descarte fue el mismo en ambos rodeos: vacas con diagnóstico de gestación negativo al momento de la palpación transrectal, vientres que pierden su ternero durante el periodo de servicio y vacas sin ternero al pie al finalizar el periodo de pariciones. La reposición de las vacas descartadas se realizó, en todos los casos, con vacas provenientes de un rodeo controlado del IIACS con su segundo diagnóstico de gestación positivo.

Para el cálculo de la superficie utilizada por cada módulo se contabilizó toda el área utilizada durante el proceso productivo (*i.e.*, superficie ganadera). En el caso de CrI la superficie ganadera efectiva considerada fue la suma de las hectáreas de pastura y las hectáreas de maíz para silaje consumidas en cada ciclo productivo. Dado que se trata de sistemas pastoriles, la ocupación de la tierra esta primariamente ligada a las pasturas en CrI y a la pastura/pastizal en CrP.

Variables medidas a campo

Las variables medidas a campo fueron: carga animal (vacas/ha/año), preñez (%), destete (%), peso vivo (PV) producido (kg PV/ha/año), cantidad de terneros destetados (terneros/ha/año), peso

vivo de los terneros al destete, duración de la lactancia (días), aumento medio diario pre-destete (gr/ternero/día). En el caso de CrI, durante el periodo de suministro de silaje de maíz a las vacas, se cuantificó el consumo de dicho alimento.

La producción de peso vivo por unidad de superficie se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$\text{Producción} = \frac{(\text{kg final} - \text{kg inicial}) + (\text{kg venta} - \text{kg compra})}{\text{Superficie utilizada}}$$

Adicionalmente, se utilizó el cociente entre la superficie ganadera y producción de peso vivo lograda en cada ciclo productivo ($\text{m}^2 \text{ año/kg PV producido}$) para comparar los sistemas.

Descripción general del modelo de simulación y variables obtenidas a partir del mismo

Se utilizó un modelo de simulación del sistema productivo desarrollado por Nasca *et al.* (2015) para generar información complementaria a los datos de campo que permita cuantificar indicadores de eficiencia de los sistemas. El modelo del sistema productivo incluye un modelo de producción y un modelo de manejo. El modelo de producción comprende procesos biofísicos, representados matemáticamente a través de los sub-modelos de crecimiento del pastizal/pasturas, crecimiento de los animales, reproducción animal y consumo animal. Los sub-modelos correspondientes fueron evaluados para la zona de estudio por Nasca *et al.* (2015) y Nasca *et al.* (2020).

El sub-modelo de crecimiento del pastizal/pasturas (McCall y Bishop-Hurley, 2003), está conducido por variables climáticas que describen la dinámica de la producción de forraje bajo pastoreo y la calidad de la misma. Para simular la producción de forraje se utilizó la información climática del IIACS para el periodo de evaluación.

El sub-modelo de crecimiento animal está gobernado por el consumo de energía. La energía metabolizable de los recursos alimenticios se estimó a partir de la digestibilidad de la materia seca de los mismos. Los valores de digestibilidad utilizados como referencia fueron tomados de la base de datos del IIACS para el periodo 2001 – 2008. Para cada mes del año se fijaron tres valores, correspondientes al valor medio y al valor medio \pm el desvío estándar. Durante el periodo comprendido entre mayo y octubre, el sub-modelo utiliza inicialmente el valor más alto y va perdiendo calidad con la ocurrencia de las heladas. Durante el periodo comprendido entre noviembre y abril, el sub-

modelo utiliza la suma térmica y la evolución de las diferentes fases fenológicas de la pastura para estimar la digestibilidad.

Las variables obtenidas a partir del modelo de simulación fueron la producción del pastizal y de la pastura (kg MS/ha/año), el consumo de forraje por animal (kg MS consumida/animal) y por unidad de superficie (kg MS consumida/ha/año), la conversión alimenticia (kg MS consumida/kg PV producido) y las emisiones de GEI. En CrI, el consumo de forraje integra el consumo de la pastura (por simulación) y del silaje de maíz (variable medida a campo).

Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

Las emisiones de CH_4 , N_2O y CO_2 se cuantificaron mediante simulación, siguiendo la metodología propuesta por el IPCC (2006). Se consideraron emisiones de CH_4 provenientes de la fermentación entérica y de las heces; emisiones de N_2O provenientes de las heces y orina depositadas en las pasturas; y CO_2 (energía fósil) emitido en el proceso productivo. Las emisiones de GEI se estimaron en $\text{CO}_2 \text{ eq}$ utilizando los factores globales de conversión de los gases de 25 y 298 para CH_4 y N_2O respectivamente (Forster *et al.*, 2007). Los resultados se expresaron en $\text{kg CO}_2 \text{ eq/kg PV producido}$.

Para el metano entérico se utilizó la ecuación del IPCC-Nivel 2 (2006), que relaciona el consumo de energía bruta de los animales con un factor de conversión de los alimentos ingeridos a metano (Y_m). El consumo de energía bruta a partir de las pasturas se estimó por simulación. El consumo de silaje de maíz, para CrI, fue medido a campo durante los periodos estudiados. El factor de conversión de metano (Y_m) se estimó en función de Cambra-López *et al.* (2008). Al tratarse de sistemas pastoriles no se cuantificó el almacenaje y manejo del estiércol. Las emisiones de N_2O a partir de las excretas bovinas se estimaron utilizando la metodología propuesta por Cardoso *et al.* (2016). El consumo de energía fósil se calculó siguiendo la metodología propuesta por Frank (2007). Se contabilizaron los costos energéticos de los insumos utilizados (*e.g.*, semillas de pasturas, alimentos, combustibles derivados del petróleo) y de las actividades agropecuarias realizadas (*e.g.*, labores de preparación, siembras, pulverizaciones, mantenimiento de pasturas, transportes) en los diferentes módulos. Se contabilizaron, para cada parcela de cada módulo, los costos energéticos de las labores realizadas afectadas por sus respectivas superfi-

cies. Anualmente se sembró el 15 % de la superficie de pasturas en CrI y el 3 % en CrP. El valor energético del silaje de maíz se calculó de acuerdo a la metodología propuesta por Frank (2007) y Cardoso *et al.* (2016), siendo su valor medio de 15,2 MJ/kg MS. Este último considera la energía empleada desde la siembra hasta el ensilado del material en cada ciclo productivo.

Análisis estadístico

Cuando el objetivo es comparar sistemas de producción, las repeticiones en el espacio son difíciles de implementar, por lo que los años pueden ser utilizados como repeticiones (Hart *et al.*, 1991; Adams *et al.*, 2000). De este modo, se utilizó un modelo lineal general, en donde cada rodeo fue considerado como una unidad experimental, el módulo de cría como factor fijo, y el año como repetición. Debido a que mediciones repetidas en el tiempo están correlacionadas, se introdujo una matriz de correlación de los errores. Se utilizó la prueba Tukey ($p \leq 0,05$) para detectar diferencias entre medias. Se utilizó regresión lineal simple para evaluar la relación entre la duración de la lactancia (días) y la disponibilidad media de forraje (kg MS/kg PV). Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente con la plataforma R (R Core Team, 2018).

Resultados

En la Tabla 1 se observan los resultados obtenidos durante cinco ciclos productivos para los módulos experimentales CrP y CrI.

Evaluación productiva

La diferencia en la producción de las pasturas y en la producción de peso vivo (PV) fue 1468 kg MS/ha y 166 kg PV/ha respectivamente, representando un incremento del 78 % y del 169 % de las citadas variables en CrI respecto a CrP. Expresando la producción de PV en términos de utilización de la superficie, esto corresponde a 102 m² año/kg PV producido y 38 m² año/kg PV producido para CrP y CrI respectivamente. La mayor producción de PV en CrI en relación a CrP estuvo relacionada con una mayor producción de terneros por unidad de superficie. La duración media de la lactancia fue mayor en CrI que en CrP (Tabla 1), pero no se tradujo en un incremento significativo del peso vivo de los terneros al destete ya que los aumentos medios diarios logrados en CrP fueron superiores

Tabla 1. Resultados de los cinco ciclos productivos (media \pm desvío estándar) evaluados para los módulos de cría intensiva y pastoril.

Indicadores	Unidades	CrP ^a	CrI ^b	F	P
Carga animal ^c	vacas/ha/año	0,64 \pm 0,1	1,66 \pm 0,3	39,90	<0,0010
Producción media de la pastura ^d	kg MS/ha/año	2553 \pm 696	4021 \pm 801	9,57	0,0148
Producción de peso vivo ^c	Kg PV/ha/año	98 \pm 18	264 \pm 86	17,70	<0,0010
Prefeñez ^c	%	89,1 \pm 5,9	91,6 \pm 4,7	1,93	0,2023
Destete ^c	%	81,4 \pm 5,7	84,6 \pm 5,7	0,77	0,4055
Peso vivo al destete ^c	kg PV/ternero	155 \pm 5,1	158 \pm 9,0	2,20	0,1367
Duración de la lactancia ^c	Días	151 \pm 5,5	172 \pm 20,8	129,30	<0,0100
Aumento de PV medio diario pre-destete ^c	gr/ternero/día	826 \pm 26	760 \pm 50	39,30	<0,0100
Terneros destetados ^c	Terneros/ha/año	0,6 \pm 0,1	1,7 \pm 0,4	40,40	<0,0010
Consumo medio de forraje ^d	Kg MS/ha/año	2131 \pm 439	5519 \pm 1119	72,12	<0,0010
Total de emisiones GEI ^d	Kg CO ₂ eq/kg PV producido	16,5 \pm 0,8	16,0 \pm 0,8	1,00	0,3466
Emisiones de CH ₄ ^d	Kg CO ₂ eq/kg PV producido	14,1 \pm 0,9	13,0 \pm 0,8	4,11	0,0771
Emisiones de CO ₂ ^d	Kg CO ₂ eq/kg PV producido	1,26 \pm 0,1	1,84 \pm 0,2	35,60	<0,0100
Emisiones de N ₂ O ^d	Kg CO ₂ eq/kg PV producido	1,14 \pm 0,1	1,16 \pm 0,1	0,06	0,8059

^a Módulo Cría pastoril

^b Módulo de Cría intensiva

^c Valor medido en módulo experimental

^d Valor estimado a partir del modelo de simulación

a CrI (Tabla 1). La disponibilidad media de pasto (kg MS/kg PV) fue 3,6 veces menor en CrI (CrP $14,1 \pm 5,7$; CrI $3,9 \pm 1,2$). En particular en CrI, a partir de los 150 días de lactancia la disponibilidad de pasto fue decreciente ($y = -0,1394x + 27,906$; $R^2 = 0,9671$; $p < 0,05$), mientras que en CrP no se encontró la misma relación. La conversión media (kg MS consumida/kg PV producido) fue $21,8 \pm 2,1$ y $21,7 \pm 3,1$ para CrP y CrI respectivamente. La mayor producción del sistema CrI en relación a CrP se relacionó con un incremento en el consumo de forraje (pastura y silaje de maíz) por unidad de superficie (Tabla 1). En el caso de CrI la relación pastura/silaje consumida fue de 2/1, con fluctuaciones entre 2,8/1 y 1,3/1. En CrI, el consumo medio de silaje de maíz fue 8,5 kg MS/vaca/día, mientras que en el caso de la pastura fue 11,0 kg MS/ha/año. El consumo medio de pastura/pastizal para CrP fue 9,0 kg MS/vaca/día, con una variación estacional, ya que el consumo medio fue $11 \pm 0,7$ kg MS/vaca/día entre noviembre y abril, mientras que durante el periodo mayo-octubre fue $8,0 \pm 0,4$ kg MS/vaca/día. La digestibilidad media del forraje consumido en CrP fue de 51 ± 3 % y 58 ± 3 % para los periodos mayo – octubre y noviembre – abril, respectivamente. En el sistema CrI, la digestibilidad media del silaje de maíz consumido fue de 66 ± 2 % y la de la pastura fue de 60 ± 2 %.

Emisiones GEI

La intensidad de emisión total (kg CO₂ eq/kg PV producido) no mostró diferencias entre los módulos experimentales. En lo que respecta a cada gas, solamente el CO₂ fue significativamente mayor en CrI (12 % de las emisiones totales vs el 8 % en CrP; Tabla 1). En el caso de CH₄ y N₂O, sus emisiones representaron en promedio para ambos tratamientos el 83 y 7 %, respectivamente. Se observó una correlación negativa significativa entre el factor de emisión de metano (Y_m) y el consumo de forraje ($r = -0,59$, $P < 0,05$) solo para CrP (en CrI, $r = 0,03$, $P > 0,05$). En CrI, los coeficientes de variación (%) de Y_m y del consumo de forraje global (pastura + silaje de maíz) fueron 6 % y 11 % respectivamente, lo que explica la falta de correlación y gran estabilidad en la cantidad y calidad consumida.

Discusión

Conocer la capacidad productiva (kg PV/ha/año) y las externalidades negativas de los sistemas

bovinos pastoriles, constituye una información relevante para el diagnóstico y la implementación de políticas de desarrollo ganadero en territorios restringidos para la expansión como el Chaco Seco argentino. En el presente trabajo se integraron módulos experimentales y un modelo de simulación para cuantificar la diferencia en la producción de PV y la intensidad de emisión de gases de efecto invernadero, en dos sistemas contrastantes de cría bovina acorde a su nivel de intensificación.

Los resultados indican que, tanto la carga animal como la producción de peso vivo fueron 2,6 veces superiores en CrI respecto a CrP, mientras que la intensidad de emisión total no mostró diferencias entre los tratamientos.

Una condición esencial para disminuir las diferencias productivas en los sistemas está relacionada con incrementar la producción de forraje por unidad de superficie, no solamente a expensas de insumos para la suplementación sino también a partir de las pasturas. Las especies nativas están muy bien adaptadas al sitio, pero en general, tienen menor digestibilidad y capacidad productiva que especies forrajeras seleccionadas específicamente por estos atributos (McAllister *et al.*, 2020). En el caso de CrP, el 50 % del total de la superficie ganadera corresponde a un pastizal. Este recurso forrajero tuvo una menor tasa de crecimiento que la pastura implantada, y esto determinó que la producción forrajera anual total fuera menor en CrP que en CrI. La mayor oferta de forraje a partir de la pastura utilizada y del silaje de maíz en CrI, permitió sostener una mayor carga animal, y consecuentemente una mayor producción de PV que en CrP. Se observó un efecto dominante de la carga animal sobre la cantidad de terneros obtenidos por unidad de superficie, representando esta categoría el 93 % del total de kilogramos producidos. Sin embargo, evaluaciones realizadas con modelos de simulación en sistemas pastoriles de regiones tropicales mostraron que el efecto del incremento de la carga animal en la eficiencia productiva no es lineal, sino curvilínea, incrementando hasta un óptimo y luego decreciendo con el aumento de la carga animal (Howden *et al.*, 1994). Los resultados muestran que la disponibilidad de pasto (Kg MS/kg PV) en CrI fue un factor limitante para los terneros a partir del tercer mes de lactancia, sosteniendo la hipótesis de que las vacas consumen la mayor parte del forraje disponible, mientras que los terneros restringen su consumo en cantidad y calidad.

Ambos módulos experimentales constituyen alternativas de mejora productiva y en intensidad de emisiones GEI en relación a los valores medios regionales informados por FAO y NZAGRC (2017). Nasca *et al.* (2019) señalan que, siguiendo una estimación lineal, y tomando como referencia la producción de la línea de base de los sistemas de cría del Chaco Salteño (770 ± 355 m² año/kg PV producido), es posible disminuir la superficie utilizada entre 3 y 16 veces dependiendo del nivel tecnológico y las estrategias de manejo implementadas. En el caso particular de este estudio, la reducción de la superficie utilizada en relación al valor de referencia citado, fue de 7,5 y 20 veces para CrP y CrI respectivamente. Por lo tanto, en lugares como el Chaco Seco en donde el recurso tierra es cada vez más limitante, los sistemas intensivos tendrían una ventaja comparativa sobre aquellos menos intensificados ya que se necesitaría menos superficie para producir la misma cantidad de carne. Fernández *et al.* (2019) señalan que existen oportunidades de incrementar la producción (kg PV/ha/año) de los sistemas en el Chaco Seco, considerando la estabilidad de los mismos en ambientes de alta variabilidad intra e inter anual en las precipitaciones, a través de la incorporación de un plan de manejo táctico y estratégico.

Existe un consenso general, referido a que la intensidad de las emisiones (Kg CO₂eq/kg PV producido) es mayor en sistemas extensivos en relación a sistemas intensivos (Mazzetto *et al.*, 2015; Cardoso *et al.*, 2016; González Fischer y Bilenca, 2020; McAllister *et al.*, 2020). Los sistemas pastoriles extensivos están asociados a una baja productividad y a una baja performance reproductiva de los rodeos y ambas variables están asociadas negativamente con la intensidad de las emisiones (Becoña *et al.*, 2014). El desempeño reproductivo de CrP y CrI no mostró diferencias, y esto influyó para que las intensidades de las emisiones fueran similares entre los módulos. A su vez, la mejora en la calidad del forraje es considerada una estrategia de mitigación (Beauchemin *et al.*, 2011; Gerber *et al.*, 2013), al permitir reducir el tiempo del alimento en el rumen, potenciar la digestión post ruminal y disminuir la proporción de la energía que es convertida en CH₄ (Waghorn y Hegarty, 2011). Sin embargo, los incrementos en el consumo de alimentos promovidos por una mejora en la calidad de la dieta impiden disminuir las emisiones de metano entérico.

La falta de una visión sistémica genera falsas expectativas en torno a la posibilidad de mitigar la emisión de gases de efecto invernadero por efecto de una mejora en la alimentación. Viglizzo *et al.* (2003) y Veysset *et al.* (2014) señalan que la demanda de energía fósil (*i.e.*, emisión de CO₂) en los sistemas productivos se incrementa en respuesta a la intensificación de los mismos, principalmente por el aumento en la utilización de insumos externos (*e.g.*, pasturas implantadas, suplementos). En particular en este estudio, la inclusión del silaje de maíz en la alimentación de las vacas y las hectáreas sembradas anualmente (4 y 8 ha en CrP y CrI respectivamente) generaron un incremento en la utilización de energía fósil y consecuentemente en la emisión de CO₂ en CrI respecto a CrP.

Las intensidades de emisiones halladas en nuestro estudio (promedio de 16,3 kg CO₂ eq/kg PV) fueron 3,2 veces menores a los valores informados por FAO y NZAGRC (2017) para modelos de cría de la región subtropical de Argentina, pero en el rango de estudios realizados en otros países. Mejorar la productividad es una de las formas de reducir la intensidad de emisiones por unidad de producto en los sistemas regionales, aunque esta relación no es lineal (Beukes *et al.*, 2010). La productividad media de los modelos regionales es de 10 kg PV/ha, siendo muy inferior a los encontrado en los módulos experimentales. La mejora de la calidad, productividad y manejo de los pastizales y pasturas, la incorporación de la suplementación estratégica para contrarrestar las limitaciones nutricionales estacionales y el manejo sanitario de los rodeos, permitiría reducir la intensidad de las emisiones entre un 24 % - 70 % en relación a los valores medios regionales (FAO y NZAGRC, 2017). Cardoso *et al.* (2016) señalan una gran variabilidad entre sistemas de Brasil donde la alimentación se basó en campo natural y pasturas megatérmicas implantadas. Los promedios de intensidad de emisiones fueron 15,5 kg CO₂ eq/kg PV (rango: 9,1-25,2 kg CO₂ eq/kg PV).

Considerando que la producción ganadera es una de las principales causantes de la transformación de bosques tropicales, sabanas y pastizales (Asner *et al.*, 2004), procesos de intensificación como el planteado en este estudio, permitirían incrementar la producción y disminuir la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero, sin modificar estos ecosistemas (Gerssen-Gondelach *et al.*, 2017).

Conclusiones

Este trabajo arroja evidencia sobre las posibilidades de incrementar la producción manteniendo el mismo nivel de intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de cría bovina del Chaco Seco en donde existen restricciones en el uso de la tierra. La diferencia en la producción de las pasturas y en la producción de peso vivo fue significativa entre los módulos experimentales, representando un incremento significativo de las citadas variables en CrI respecto a CrP. La intensidad de las emisiones totales no mostró diferencias entre módulos. Tomando como referencia los valores medios regionales, ambos módulos experimentales con sus diferentes manejos representan una posibilidad de incrementar la producción disminuyendo la intensidad de las emisiones. Esta información podría ser de utilidad para decisores políticos, científicos y productores interesados en el desarrollo del territorio y en la conservación del medio ambiente, promoviendo la segregación espacial entre áreas de producción intensificada y áreas naturales sin perturbación.

Agradecimientos

Se agradece al personal de campo del Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS), al Proyecto Específico de INTA 1126022 y a la Asociación Cooperadora INTA Leales.

Referencias

- Adams D.C., Nielsen M.K., Schacht W.H., Clark R.T. (2000). Designing and Conducting En: Experiments for Range Beef Cows. Faculty Papers and Publications in Animal Science., <https://digitalcommons.unl.edu/animalscifacpub/510>, consulta: marzo 2019.
- Alemu A.W., Amiro B.D., Bittman S., MacDonald D., Ominski K.H. (2017). Greenhouse gas emission of Canadian cow-calf operations: A whole-farm assessment of 295 farms. *Agricultural Systems* 151: 73-83.
- Ash A., Hunt L., McDonald C., Scanlan J., Bell L., Cowley R., Watson I., McIvor J., MacLeod N. (2015). Boosting the productivity and profitability of northern Australian beef enterprises: exploring innovation options using simulation modelling and systems analysis. *Agricultural Systems* 139: 50-65.
- Asner G.P., Elmore A.J., Olander L.P., Asner G.P., Elmore A.J., Olander L.P., Harris A.T. (2004). Grazing systems, ecosystem responses, and global change. *Annual Review of Environmental Resources* 29: 261-299.
- Balmford A., Amano T., Bartlett H., Chadwick D., Collins A., Edwards D., Field R. (2018). The environmental costs and benefits of high-yield farming. *Nature Sustainability* 1: 477-485.
- Banegas N., Albanesi A., Pedraza R., Dos Santos, D. (2015). Non-linear dynamics of litter decomposition under different grazing management regimes. *Plant and Soil* 393: 47-56.
- Baumann M., Israel C., Piquer-Rodríguez M., Gavier-Pizarro G., Volante J.N., Kuemmerle T. (2017). Deforestation and cattle expansion in the Paraguayan Chaco. *Regional Environmental Change* 17: 1179-1191.
- Beauchemin K.A., Janzen H., Little S.M., McAllister T.A., McGinn S.M. (2010). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: a case study. *Agricultural Systems* 103: 371-379.
- Beauchemin K.A., Janzen H.H., Little S.M., McAllister T.A., McGinn S.M. (2011). Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada. Evaluation using farm-based lifecycle assessment. *Animal Feed Science and Technology* 166: 663-667.
- Becoña G., Astigarraga L., Picasso V. (2014). Greenhouse gas emissions of beef cow-calf grazing systems in Uruguay. *Sustainable Agriculture Research* 3: 89-105.
- Beukes P.C., Burke C.R., Levy G., Tiddy R.M. (2010). Using a whole farm model to determine the impacts of mating management on the profitability of pasture-based dairy farms. *Animal Reproduction Science* 121: 46-54.
- Cambra-Lopez M., García RP, Estellés F., Torres A. (2008). Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: El Factor de Conversión de Metano. *Archivos de Zootecnia* 57: 89-101.
- Cardoso A., Berndt A., Leytem A., Alves B., Carvalho I., Soares L., Urquiaga S., Boddey R. (2016). Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems* 143: 86-96.
- FAO y NZAGRC. (2017). Low-emissions development of the beef cattle sector in Argentina. Reducing enteric methane for food security and livelihoods. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (NZAGRC), Roma, Italia. Pp 39.
- Faverin C., Gratton R., Machado C.F. (2014). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de carne vacuna de base pastoril. Revisión bibliográfica. *Revista Argentina de Producción Animal* 34: 33-54.
- Fernández P., Baumann M., Baldi G., Banegas N., Bravo S., Gasparri N.I., Lucherini M., Marinaro S., Nanni A.S., Nasca JA., Tessi T., Grau H.R. (2019). Grasslands and Open Savannas of the Dry Chaco.

- Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Encyclopedia of the World's Biomes. 1-13.
- Fernández P., Kuemmerle T., Baumann M., Grau R., Nasca J.A., Radrizzani A., Gasparri I. (2020). Understanding the distribution of cattle production systems in the South American Chaco. *Journal of Land Use Science*. 15:1 52-68. DOI: 10.1080/1747423X.2020.
- Forster P.V., Ramaswamy P., Artaxo T., Berntsen R., Betts D.W., Fahey M. (2007). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. En: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Inter Governmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, EEUU.
- Frank F.C. (2007). Impacto agroecológico del uso de la tierra a diferentes escalas en la región pampeana de Argentina. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.
- Garnett T., Appleby M.C., Balmford A., Bateman I., Benton T., Bloomer P., Burlingame B., Dawkins M., Dolan L., Fraser D., Herrero M., Hoffmann I., Smith P., Thornton P., Toulmin C., Vermeulen S., Godfray C. (2013). Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies. *Science* 341: 33-44.
- Gasparri N.I., Grau H.R. (2009). Deforestation and Fragmentation of Chaco Dry Forest in NW Argentina (1972-2007). *Forest Ecology and Management* 258: 913-921.
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J. (2013). Margen para la mitigación. En: *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería - Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Eds.), Roma, Italia. Pp. 51-64.
- Gerssen-Gondelach S.J., Lauwerijssen R.B.G., Havlik P., Herrero M., Valin H., Faaij A.P., Wicke B. (2017). Intensification pathways for beef and dairy cattle production systems: Impacts on GHG emissions, land occupation and land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 240: 135-147.
- Gonzalez Fischera C., Bilenca D. (2020). Can we produce more beef without increasing its environmental impact? Argentina as a case study. *Perspectives in Ecology and Conservation* 18: 1-11.
- Hart R.H., Samuel M.J., Waggoner J.W., Smith M.A. (1991). Grazing Systems in Wyoming: Impacts of Grazing Pressure and Livestock Distribution. *Rangelands* 12-16.
- Howden S.M., White D.H., Mckean G.M., Scanlan J.C., Carter J.O. (1994). Methods for exploring management options to reduce greenhouse gas emissions from tropical grazing systems. *Climate Change* 27: 49-70.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). Agriculture, Forestry and Other Land Use. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. En: *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook*. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (Eds). Kanagawa, Japan <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>.
- Mazzetto A.M., Feigl B.J., Schils R.L.M., Cerri C.E.P., Cerri C.C. (2015). Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. *Livestock Science* 175: 101-112.
- McAllister T.A., Stanford K., Chaves A.V., Evans P.R., de Souza Figueiredo E.E., Ribeiro G. (2020). Nutrition, feeding and management of beef cattle in intensive and extensive production systems. En *Animal Agriculture. Sustainability, Challenges and Innovations*. Bazer F., Cliff Lamb G., Wu G. (Eds.) Elsevier, Reino Unido. Pp. 75-98.
- McCall D.G., Bishop-Hurley G.J. (2003). A pasture growth model for use in a whole-farm dairy production model. *Agricultural Systems* 76: 1183-1205.
- Murison R., Scott J.M. (2013). Statistical methodologies for drawing causal inference from an unreplicated farmlet experiment conducted by the Cicerone Project. *Animal Production Science* 53: 643-648.
- Nasca J.A., Feldkamp C.R., Arroquy J.I., Colombatto D. (2015). Efficiency and stability in subtropical beef cattle grazing systems in the Northwest of Argentina. *Agricultural Systems*: 133: 85-96.
- Nasca J.A., Fernandez P., Martinez M. (2019). Distribución y potencial productivo de los sistemas bovinos del Chaco Salteño. En: <https://inta.gov.ar/documentos/distribucion-y-potencial-productivo-de-los-sistemas-bovinos-del-chaco-salteno>, consulta: enero 2020.
- Nasca J.A., Berone G., Arroquy J., Feldkamp C., Colombatto D. (2020). Evaluación de un modelo de producción de pasturas mediante pruebas empíricas. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)* 46: 88-95.
- Oliveira T.E., Freitas D.S., Gianezini M., Ruviano C.F., Zago D., Mércio T.Z., Dias E.A., Lampert V.N., Barcellos J.O.J. (2017). Agricultural land use change in the Brazilian pampa biome: the reduction of natural grasslands. *Land Use Policy* 63: 394-400.
- Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.D., Powell G.V.N., Underwood E.C. (2001). Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience* 51: 933-938.
- Pacín F., Oesterheld M. (2015). Closing the technological gap of animal and crop production through technical assistance. *Agricultural Systems* 137: 101-107.
- Pordomingo A. (2019). Producción bovinos para carne (2013-2017) Programa Nacional de Producción Animal Sistemas de producción Bienestar animal y calidad de producto. Eds Ediciones INTA.

- Scott J.M., Munro M., Rollings N., Browne W., Vickery P.J., Macgregor C., Donald G.E., Sutherland H. (2013). Planning for whole-farm systems research at a credible scale: subdividing land into farmlets with equivalent initial conditions. *Animal Production Science* 53: 618-627.
- Veysset P., Lherm M., Bébin D., Roulenc M., Benoit M. (2014). Variability in greenhouse gas emissions, fossil energy consumption and farm economics in suckler beef production in 59 French farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 188: 180-191.
- Viglizzo E.F., Pordomingo A.J., Castro M.G., Lértora F. (2003). Environmental assessment of agriculture at a regional scale in the pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 87: 169-195.
- Waghorn G.C., Hegarty R.S. (2011). Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. *Animal Feed Science and Technology* 166: 291-301.