

Relación costo-beneficio de la implementación de tecnologías productivas en el sistema vaca-becerro

Cost-benefit relationship of implementing productive technologies in the cow-calf system

Víctor Fernando Torres Aburto¹, Víctor Hugo Severino Lendecky^{2*}, Adrián Gutiérrez Cervantes³, Mateo Itza Ortiz⁴, Valentín Efrén Espinosa Ortiz⁵, Concepción Ahuja Aguirre¹

¹Facultad de Medicina Veterinaria y zootecnia, Universidad Veracruzana, C.P. 91710, Veracruz, México.

victorfernando.torres@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8228-9626>

ahujacon@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7699-4713>

²Centro de Estudios Etnoagropecuarios, Universidad Autónoma de Chiapas, C.P. 29264, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

vhseverino@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6265-1384>

³Instituto Tecnológico de Boca del Río, Tecnológico Nacional de México, C.P. 94290. Boca del Río, Veracruz, México.

biol_adriangutierrez@yahoo.com.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4689-2553>

⁴Departamento de Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, C.P. 32000, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

mateo.itza@uacj.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0313-586X>

⁵Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Economía, Administración y Desarrollo Rural, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, C.P. 04510. Coyoacán, Ciudad de México, México.

veoe1@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2938-3848>

*Autor de correspondencia

Resumen

Palabras clave:

Parámetros productivos; economía; ganadería; costos.

El objetivo del estudio fue evaluar la relación costo-beneficio de la implementación de tecnologías productivas en una unidad de producción pecuaria dedicada a la producción de terneros para abastecimiento. Las tecnologías evaluadas fueron: diagnóstico de preñez, evaluación andrológica, suplementación alimentaria y programa sanitario. Los indicadores evaluados fueron: evaluación andrológica, tasa de fertilidad, intervalo entre partos, tasa de natalidad, becerros destetados y relación costo-beneficio. La evaluación andrológica indicó una mejora en la calidad seminal de los toros. La tasa de fertilidad, tasa de natalidad y becerros destetados se incrementó 33.5 ± 1.3 , 33.6 ± 1.3 y 13.8 ± 1.0 %, respectivamente. Se observó reducción en intervalo entre partos de 142.5 ± 12.75 días y se obtuvo una relación costo-beneficio de 1.00. En conclusión, la relación costo-beneficio no indicó ganancias. No obstante, la implementación de las tecnologías productivas mejoró las variables productivas y reproductivas, logrando recuperar la inversión realizada durante el estudio.

Abstract

Keywords:

Productive parameters; economy; cattle raising; costs.

The objective of this work was to evaluate the cost-benefit relationship of the implementation of productive technologies in a livestock production unit dedicated to the production of calves for supply. The technologies evaluated were pregnancy diagnosis, andrological evaluation, nutritional supplementation, and health program. The results of the application of these technologies were observed in the following indicators: andrological evaluation, fertility rate, interval between calving, birth rate, weaned calves, and cost-benefit ratio. The andrological evaluation indicated an improvement in the semen quality of bulls. Fertility rate, birth rate, and weaned calves increased $33.5 \pm 1.3\%$, $33.6 \pm 1.3\%$ and $13.8 \pm 1.0\%$, respectively. There was a reduction in interval between calving of 142.5 ± 12.75 days, and a cost-benefit relationship of 1.00 was obtained. In conclusion, the cost-benefit relationship did not imply economic earnings. However, the implementation of productive technologies improved productive and reproductive variables, managing to recover the investment made in the study period.

Recibido: 22 de agosto de 2024

Aceptado: 20 de noviembre de 2024

Publicado: 22 de enero de 2025

Cómo citar: Torres Aburto, V.F., Severino Lendecky, V.H., Gutiérrez Cervantes, A. Itza Ortiz, M., Espinosa Ortiz, V.E. & Ahuja Aguirre, C., (2025). Relación costo-beneficio de la implementación de tecnologías productivas en el sistema vaca-becerro. *Acta Universitaria* 35, e4338. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2025.4338>

Introducción

Las unidades de producción (UP) ganaderas del sistema vaca-becerro, que se localizan principalmente en regiones tropicales, cuentan con el potencial para aportar hasta el 80% de la producción de carne de res de la demanda nacional de proteína de origen animal (Herrero *et al.*, 2013). Sin embargo, estos sistemas productivos realizan su actividad ganadera bajo esquemas tradicionales de producción, empleando pocas o nulas tecnologías productivas que son de vital importancia para mejorar la eficiencia productiva (Kebebe, 2019; Zander *et al.*, 2013). Dichas tecnologías se enfocan principalmente en cuatro rubros zootécnicos: 1) evaluación andrológica de sementales, 2) diagnóstico de gestación, 3) manejo nutricional y 4) programa sanitario.

En las UP de regiones tropicales el manejo reproductivo empleado generalmente es la monta natural continua con el toro sin evaluación andrológica; este manejo consiste en permitir que el toro y las hembras en edad reproductiva permanezcan en el mismo grupo durante todo el año, donde el toro se encarga de detectar vacas en estro y darles servicio. Aunque un toro sano y con buen manejo puede alcanzar tasas de gestación del 80% (Páez-Barón & Corredor-Camargo, 2014), se ha detectado que en este tipo de sistemas uno de cada cinco toros presenta pobre calidad seminal, influyendo de manera negativa en el número de vacas gestantes y afectando la viabilidad económica del sistema productivo (Barth, 2018). Algo parecido sucede con el diagnóstico de gestación, el cual no es utilizado de manera constante o de forma estratégica, ya que se ha observado que sólo el 48% de los productores lo realiza (Kayser-Alarcón *et al.*, 2023).

Por otro lado, la suplementación alimenticia es poco manejada en este sistema (Mejía-Bautista *et al.*, 2010), sin importar que los forrajes tropicales con los que generalmente se alimenta el ganado (*Brachiaria decumbes*, *Cenchrus purpureus*, *Pennisetum purpureum*, *Panicum maximum*, *Cynodon nlemfuensis*, *Cynodon plectostachyus*) sean afectados en su rendimiento productivo y calidad nutricional debido a la variabilidad ambiental que se genera durante las temporadas de lluvia o seca, ocasionando que el consumo de energía, proteínas y minerales sea deficiente; lo cual influye de manera negativa en la condición corporal (CC) de los animales y, en consecuencia, se provoca el anestro posparto prolongado (Peter *et al.*, 2009; Sollenberger *et al.*, 2020).

Otro factor que ocasiona un descenso en los parámetros reproductivos y productivos está asociado con la seroprevalencia de enfermedades reproductivas, entre las que destacan la rinotraqueítis infecciosa bovina (IBR), causada por herpesvirus bovino tipo 1; la diarrea viral bovina (DVB), causada por un pestivirus de la familia Flaviridae; y la leptospirosis, causada predominantemente por *Leptospira borgpetersenii* (Tipo: hardjo-bovis) (Sarangi *et al.*, 2021). Estas enfermedades inducen una variedad de trastornos reproductivos que son productiva y económicamente importantes, como vulvovaginitis y endometritis, así como un bajo desarrollo folicular y embrionario, ocasionando muerte embrionaria y aborto, que resultan en tasas de fertilidad $\leq 45\%$ e intervalos interparto ≥ 365 días (Diskin & Kenny, 2016).

Todo lo anterior aumenta los costos de producción y reduce significativamente el beneficio económico obtenido por la venta de becerros al destete (Baldwin *et al.*, 2022). No obstante, en las UP de regiones tropicales no se dispone de información que analice de forma integral las inversiones realizadas en tecnologías productivas, lo cual no permite conocer de forma clara y precisa el beneficio económico obtenido de la implementación tecnológica, dando como resultado que los productores limiten su uso. En ese contexto, y con el fin de tener una idea más clara de la factibilidad del sistema de producción, es necesario que estas UP sean viables económicamente (Salas-Reyes *et al.*, 2015). Para ello, hay que apoyarse en indicadores económicos y financieros, los cuales coadyuvan en la toma de decisiones respecto a la inversión por parte de los productores (González-Pérez, 2016). Entre estos indicadores se consideran la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN), el método del periodo de recuperación, la tasa de rendimiento contable y el índice de rentabilidad. Por ello, es muy importante realizar un análisis costo-beneficio, el cual sirve para medir la relación entre los costos totales de un proyecto y los beneficios económicos que el proyecto ofrece, es decir, la rentabilidad que la inversión brinda a la empresa. Esta variable financiera ofrece información valiosa sobre la viabilidad económica de la aplicación de nuevas tecnologías en las empresas (Ross *et al.*, 2012). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar la relación costo-beneficio de la implementación de tecnologías productivas en el sistema vaca-becerro.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en una UP dedicada a la producción de becerros para abasto regional y nacional, ubicada en la localidad de Nopalapan, municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz, situada a 18° 11' 16" latitud Norte y -95° 33' 04" longitud Oeste, a una altura de 150 m. s. n. m., con clima tropical húmedo, temperatura de 27 °C y precipitación pluvial media anual de 1115 mm (INEGI, 2023).

Características de los animales

Se empleó un total de 1257 bovinos, conformado por 1217 hembras (Brahman x Simmental: $n = 635$; Brahman x Simbrah: $n = 582$), no lactantes con dos a cinco partos, condición corporal de 2.5 a 3.0 en escala de 1 a 5 (Pullan, 1978), y peso promedio de 450.5 kg \pm 10.2 kg, así como 40 toros (Brahman: $n = 28$; Simbrah, $n = 12$), con edad y peso promedio de 5 años y 550.7 kg \pm 15.2 kg, respectivamente, y condición corporal de 2.5 a 3.0 (Pullan, 1978). Todos los animales fueron identificados conforme a los registros existentes de la UP y manejados en un sistema de pastoreo extensivo con forrajes *Cynodon nlemfuensis*, *Digitaria eriantha* y *Panicum maximum*.

Diseño experimental

En el año 0 se realizó un diagnóstico de cada uno de los indicadores a evaluar, iniciando con la alimentación, de allí se partió a la implementación de un programa de suplementación alimenticia, manejo sanitario y de tecnologías reproductivas durante un periodo de tres años (enero 2019 a enero 2022). Durante ese periodo se realizó la evaluación costo-beneficio, partiendo del año 0. Así se llegó a la evaluación económica de los programas implementados mediante los parámetros y/o indicadores productivos y reproductivos obtenidos.

VARIABLES DE ESTUDIO

Suplementación alimenticia

La suplementación alimenticia se realizó cada mañana, suministrando 25 kg/animal/día de ensilaje de maíz (*Zea mays*) con un contenido de materia seca de (MS) 32%, materia orgánica (MO) 54%, cenizas (C) 7.4%, fibra cruda (FC) 22.6% y proteína bruta (PB) 11.8%. Al mismo tiempo se proporcionaron 50 g/animal/día de sales minerales con una composición de P 12%, Ca 13%, Cl 15.6%, Na 10.4%, Mg 0.6%, S 0.3%, He 0.3%, Zn 0.12%, Mn 0.12%, Cu 0.03%, Co 50 ppm, I 30 ppm y Se 3 ppm (Minelas Fos 12[®], Lab. Lapisa).

Programa de vacunación

A todos los animales se les suministró de manera anual, vía intramuscular (IM), la vacuna contra IBR, DVB (cepa citopática de tipo I y tipo II), influenza bovina tipo 3 (PI3), y leptospirosis, que incluyó los serotipos *L. canicola*, *L. grippotyphosa*, *L. hardio*, *L. icterohemorrhagiae* y *L. Pomona* (Bovi-Shield Gold FP5-L5[®], Lab. Zoetis, dosis 2 ml vía IM).

Evaluación andrológica de sementales

La evaluación andrológica (EA) incluyó la medición de la circunferencia escrotal con una cinta escroto-testicular (Implegan[®] Modelo Coulter, Colombia). Además, para determinar el potencial reproductivo de los sementales se extrajo semen de todos los toros una vez al año mediante un electroeyaculador (ElectroJac 5[®]) y se analizaron las características seminales macroscópicas (volumen de eyaculado y pH del semen) y microscópicas (motilidad masal, motilidad progresiva, concentración espermática y anomalías totales) (Páez-Barón & Corredor-Camargo, 2014).

Diagnóstico de gestación

Se realizó a todas las vacas mediante ultrasonografía cada cuatro meses (tres veces en el año) durante el empadre continuo y 45 días después de finalizar el empadre (retiro de toros). Para ello, se utilizó un ultrasonido portátil Mindray modelo DP-10 VET con un transductor transrectal de 7.0 MHz.

Parámetros y/o indicadores económicos

La estimación de costos de producción se realizó empleando la metodología para el cálculo de costos e ingreso (Matsunaga *et al.*, 1976). Los costos fueron clasificados como fijos y variables. Los costos fijos incluyeron pago de mano de obra, depreciación de los activos, servicios de energía eléctrica y predial. Los costos variables incluyeron alimentación y suplementación, servicio veterinario, evaluación reproductiva de los sementales, diagnóstico de gestación, programa sanitario, suministros de limpieza, mantenimiento y combustibles. El cálculo de la depreciación de activos (instalaciones y equipo con y sin motor) fue del 5%, que se obtuvo al restar el valor residual y/o de salvamento del valor inicial, y este resultado se dividió entre los años de vida útil. La depreciación animal fue del 2% y se obtuvo al descontar del valor inicial del semoviente el valor del mismo al momento de su desecho y/o venta, dividiendo el resultado entre los años de vida útil. El precio de venta se obtuvo del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM, 2023).

Los ingresos se obtuvieron al multiplicar los kilogramos promedio del becerro al momento del destete (± 180 kg) por el precio de venta en el mercado nacional tomado del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM, 2023). La relación costo-beneficio se obtuvo al dividir el valor total de los beneficios entre el valor total de costos de inversión. Por último, los valores fueron convertidos a dólares estadounidenses (USD \$), empleando la tasa de conversión de tipo de cambio del Banco de México (Banxico, 2023).

Parámetros y/o indicadores reproductivos y productivos

El porcentaje de tasa de fertilidad total (TFT) se obtuvo al dividir el número de vacas gestantes entre el total de vacas en el hato durante un periodo de un año. El intervalo entre partos (IEP) se obtuvo al dividir la cantidad de días que transcurrieron de un parto a otro (Perea-Ganchou *et al.*, 2005). La tasa de natalidad (TN) es el número de crías que se obtienen en un año por cada 100 vacas en edad aptas para reproducción; para lo cual, se dividió el número de nacimientos entre el promedio de vacas y se multiplicó por 100 (Haley *et al.*, 2005). El porcentaje de becerros destetados (BD) se obtuvo al dividir la cantidad de becerros destetados en un periodo determinado de tiempo, entre la cantidad de vacas paridas en ese mismo periodo, y el resultado se multiplicó por 100 (Cienfuegos-Rivas *et al.*, 2006).

Análisis estadístico

Los datos de EA, TFT, IEP, TN y BD se analizaron mediante análisis unilaterial de la varianza por jerarquías de Kruskal-Wallis. Para determinar el efecto y/o relación de estas variables sobre el costo-beneficio de su implementación, se realizó regresión lineal. Las pruebas estadísticas fueron realizadas con el *software* Statistic versión 10 (Statistic V. 10).

Resultados y discusión

La EA indicó que, previo a la implementación de tecnologías productivas (año 0), los toros presentaban menor CC y características seminales de menor calidad que en los años subsecuentes (años 1 a 3), cuando se implementaron las tecnologías productivas ($p < 0.05$) (Tabla 1).

Tabla 1. Media \pm desviación estándar de condición corporal, circunferencia escrotal y variables seminales de los toros por año.

Parámetros	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Condición corporal (1-5)	2.5 \pm 0.5 ^a	3.0 \pm 0.5 ^b	3.5 \pm 0.5 ^c	3.7 \pm 0.5 ^c
Circunferencia escrotal (cm)	36.73 \pm 1.64 ^a			
Volumen de eyaculado (ml)	5.40 \pm 1.12 ^a	7.02 \pm 0.73 ^b	7.80 \pm 0.64 ^b	7.70 \pm 0.60 ^b
PH	6.40 \pm 0.16 ^a	6.43 \pm 0.17 ^a	6.49 \pm 0.19 ^a	6.50 \pm 0.19 ^a
Concentración espermática ($\times 10^6$)	449.0 \pm 254.12 ^a	781.6 \pm 212.58 ^b	786.5 \pm 236.31 ^b	784.5 \pm 209.30 ^b
Motilidad masal (%)	65.50 \pm 2.43 ^a	86.15 \pm 3.50 ^b	88.75 \pm 3.10 ^b	89.75 \pm 1.10 ^b
Motilidad individual (%)	57.80 \pm 22.37 ^a	80.52 \pm 12.87 ^b	80.57 \pm 11.19 ^b	80.72 \pm 12.85 ^b
Anormalidades totales (%)	20.0 \pm 3.59 ^a	14.0 \pm 3.59 ^b	12.0 \pm 3.19 ^c	10.0 \pm 1.12 ^d

^{a,b,c,d} Literales distintas por fila indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Esto coincide con Barth (2018), Geary *et al.* (2021) y Harrison *et al.* (2022), quienes reportaron que el suministro de dietas balanceadas y sales minerales a un grupo de toros mejoró sustantivamente la CC y el estatus fisiológico, al observarse un incremento en el nivel plasmático de hormonas relacionadas con la ganancia de peso (IGF-1) y la reproducción (GnRH y LH). Por lo tanto, la EA, antes de la época de empadre, permitió identificar sementales con fertilidad reducida y/o problemas reproductivos *per se* y darles tratamiento, además de eliminar animales improductivos. La mejor CC y calidad seminal de los toros permitió que los sementales empleados en la monta durante la época de empadre tuvieran más probabilidades de éxito al cubrir la mayor cantidad de vacas (Barth, 2018; Geary *et al.*, 2021; Hancock *et al.*, 2016; Harrison *et al.*, 2022).

Con relación a las hembras, éstas mostraron aumento en CC, TFT, TN, BD y disminución en el IEP durante los años 1, 2 y 3, comparados con el año 0 ($p < 0.05$) (Tabla 2), lo que se atribuye a la suplementación de alimento y sales minerales que se proporcionó.

Tabla 2. Media \pm desviación estándar de parámetros reproductivos y productivos de las hembras.

Variables	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Condición corporal (1-5)	2.5 \pm 0.5 ^a	3.5 \pm 0.5 ^b	3.5 \pm 0.5 ^b	3.5 \pm 0.5 ^b
Reproductivas				
Tasa de fertilidad total (%)	40.46 \pm 6.79 ^a	67.37 \pm 3.29 ^b	75.75 \pm 1.83 ^b	78.87 \pm 0.83 ^b
Intervalo entre parto (días)	589.5 \pm 75.89 ^a	471.25 \pm 15.05 ^b	447.50 \pm 16.35 ^b	422.37 \pm 6.82 ^b
Productivas				
Tasa de natalidad (%)	40.37 \pm 6.85 ^a	67.23 \pm 3.28 ^b	75.79 \pm 1.78 ^b	79.01 \pm 0.96 ^b
Becerras destetados (%)	98.57 \pm 1.85 ^a	99.21 \pm 0.66 ^b	99.36 \pm 0.69 ^b	99.59 \pm 0.65 ^b

^{a,b} Literales distintas por fila indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia

Se ha reportado que el reinicio de la actividad reproductiva se ve influenciado por el estatus nutricional que mantienen las vacas antes y después del parto (Diskin & Kenny, 2016; Severino-Lendecky *et al.*, 2020). Si el consumo de nutrientes es inadecuado, ocasionará una marcada disminución en las reservas corporales de la vaca, afectando su comportamiento reproductivo al incrementar el periodo de anestro posparto y disminuir la tasa de gestación (Diskin & Kenny, 2016; Severino-Lendecky *et al.*, 2020). Entre las mejoras que se mencionan con la suplementación alimenticia están el aumento de los niveles plasmáticos de gonadotropinas que influyen de forma positiva en la reducción del número de días abiertos, la mejoría en la calidad del ovocito y embrión, la disminución de partos distócicos y enfermedades infecciosas uterinas, el aumento del peso de las crías al nacimiento y destete, todo lo anterior en comparación con vacas que recibieron dietas limitadas y/o con restricción nutricional (González-Maldonado *et al.*, 2017; Mageste *et al.*, 2022; Severino-Lendecky *et al.*, 2020).

Por lo tanto, la suplementación alimenticia es una estrategia zootécnica pertinente que permitirá a la vaca mantener una adecuada CC y, por ende, una aceptable eficiencia reproductiva, mejorando la tasa de gestación, disminuyendo los días abiertos y aumentando el porcentaje de becerros nacidos vivos y destetados (D'Occhio *et al.*, 2019; Macmillan *et al.*, 2020), como se observó en este estudio.

Por otro lado, aunado a la suplementación alimenticia, otro factor que pudo haber coadyuvado a elevar el número de becerros nacidos vivos y destetados fue el programa sanitario implementado para la prevención y control de enfermedades reproductivas, ya que probablemente tuvo dos efectos positivos: 1) evitó la presencia de signos clínicos relacionados con enfermedades reproductivas al mejorar la inmunidad de las hembras antes de la gestación, brindándole protección al feto, y 2) transmitió suficiente cantidad de anticuerpos maternos a través del calostro, disminuyendo la morbilidad y mortalidad de las crías en sus etapas de desarrollo. Esto coincide con lo reportado por Hill *et al.* (2010), McGowan (2022) y Santman-Berens *et al.* (2018), quienes encontraron que la aplicación de biológicos para la prevención de enfermedades reproductivas en el ganado bovino disminuyó los casos de reabsorción embrionaria, momificaciones, abortos y mortinatos. Por lo tanto, es necesario usar programas sanitarios para hacer más eficiente y/o mejorar los procesos productivos en UP vaca-becerro.

Los costos totales de producción indicaron que, dentro de los costos fijos, la mano de obra fue el segmento de mayor importancia, seguido por las depreciaciones del ganado y equipo con motor (Tabla 3). Por otro lado, las erogaciones de mayor impacto en los costos variables se debieron a la alimentación, seguida por la suplementación alimenticia con silo de maíz y sales minerales.

Tabla 3. Descripción de costos de producción desglosados en costos fijos, costos variables, costos totales, ingresos y relación costo-beneficio expresado en USD, por año.

Costos Fijos	Año 0	%	Año 1	%	Año 2	%	Año 3
Mano de obra	8879.44	20.28	8736.86	16.26	8726.09	15.93	7819.10
Depreciación de instalaciones	2025.10	4.62	1992.58	3.71	1990.12	3.63	1783.27
Depreciación de ganado	4595.57	10.49	4521.77	8.42	4516.20	8.25	4046.78
Depreciación de equipo con motor	2146.92	4.9	2112.44	3.93	2109.84	3.85	1890.54
Depreciación de equipo sin motor	712.46	1.63	701.02	1.3	700.16	1.28	627.38
Energía eléctrica	999.56	2.28	983.51	1.83	982.3	1.79	880.2
Subtotal	19 359.06	44.2	19 048.19	35.45	19 024.72	34.74	17 047.27
Costos variables	Año 0		Año 1		Año 2		Año 3
Alimentación	19 905.85	45.45	19 586.36	36.45	20 149.09	36.79	18 596.41
Suplementación silo de maíz			5379.16	10.01	5379.25	9.82	4877.97
Suplementación sales minerales			3509.97	6.53	3610.82	6.59	3332.57
Evaluación de sementales			857.68	1.6	908.54	1.66	837.36
Diagnóstico de gestación			1514.06	2.82	1663.41	3.04	1594.85
Programa sanitario			897.7	1.67	923.49	1.69	848.19
Medicamentos	4528.10	10.35	2935.10	5.46	3107.37	5.67	2895.77
Subtotal	24 433.94	55.8	34 680.04	64.55	35 741.96	65.26	32 983.11
Costo total	43 793.00		53 728.23		54 766.68		50 030.38
Ingresos	23 963.09		48 672.35		53 733.38		50 241.69
Relación costo beneficio	0.55		0.91		0.98		1

Nota. Tipo de cambio FIX aplicado por el Banco de México en el periodo 2016-2023.

Fuente: Elaboración propia.

Además, se observó que la relación costo-beneficio en el año 0 (sin empleo de tecnologías) mostró una relación negativa, es decir, que los costos eran mayores a los ingresos. Por otro lado, durante el periodo en que se emplearon los procesos tecnológicos, los ingresos fueron aumentando paulatinamente (año 1 a 2), hasta alcanzar el punto de equilibrio (año 3) con los costos, esto debido a dos factores: en primer lugar, los costos fijos unitarios fueron disminuyendo, provocando un descenso significativo en el costo unitario y, en segundo lugar, el precio pagado en el mercado nacional en el momento de la venta de los becerros permitió obtener una mayor cantidad de ingresos, asegurando un mejor retorno de la inversión.

Lo anterior coincide con lo reportado por Torres-Aburto *et al.* (2020), quienes evaluaron UP del sistema vaca-becerro y demostraron que el impacto de los costos de mano de obra, alimentación y compra de insumos para la suplementación en la alimentación representó 68.3% del costo total, y que la variación de los costos totales estuvo determinada por el empleo de los insumos destinados a la producción, así como por la fluctuación en los precios, los cuales se encuentran influenciados por la inflación, oferta y demanda. Esto también ha sido reportado por Ramsey *et al.* (2005) y Amiri *et al.* (2022), quienes evaluaron sistemas extensivos, semi-intensivos e intensivos de ganado bovino y demostraron que la producción ganadera depende de diversos insumos, los cuales tienen un grado diferente de participación en los costos. En este estudio, las tecnologías productivas empleadas tuvieron un porcentaje de participación del 23% en el costo total de producción (Tabla 3). Por lo tanto, no se observó un incremento sustantivo en los costos de producción durante la implementación de estas tecnologías y/o procesos productivos. No obstante, estas tecnologías permitieron incrementar de manera gradual la cantidad de ingresos obtenidos por la venta de becerros. Se ha reportado que la implementación de tecnologías destinadas a mejorar los indicadores productivos permite alcanzar la viabilidad económica de las UP ganaderas, mejorando la rentabilidad hasta en un 28% en comparación con hatos donde no se realiza este tipo de manejos (Machen *et al.*, 2021; Parra-Cortés & Magaña-Magaña, 2019).

Con relación a los parámetros reproductivos y productivos obtenidos, se observó que TFT, TN y BD (Figura 1a, 1c y 1d, respectivamente) mostraron una correlación positiva ($p < 0.005$) con los procesos tecnológicos implementados; dicho de otro modo, al implementar estas tecnologías productivas, la TFT, TN y BD aumentaron. Por su parte, el IEP (Figura 1b) mostró correlación negativa ($p < 0.005$), es decir, que la implementación de las tecnologías productivas disminuyó el periodo interparto. Por lo tanto, tener mayores TFT, TN, BD y menor número de días en el IEP genera mejoras en la eficiencia productiva, en el costo-beneficio y en la rentabilidad de la UP.

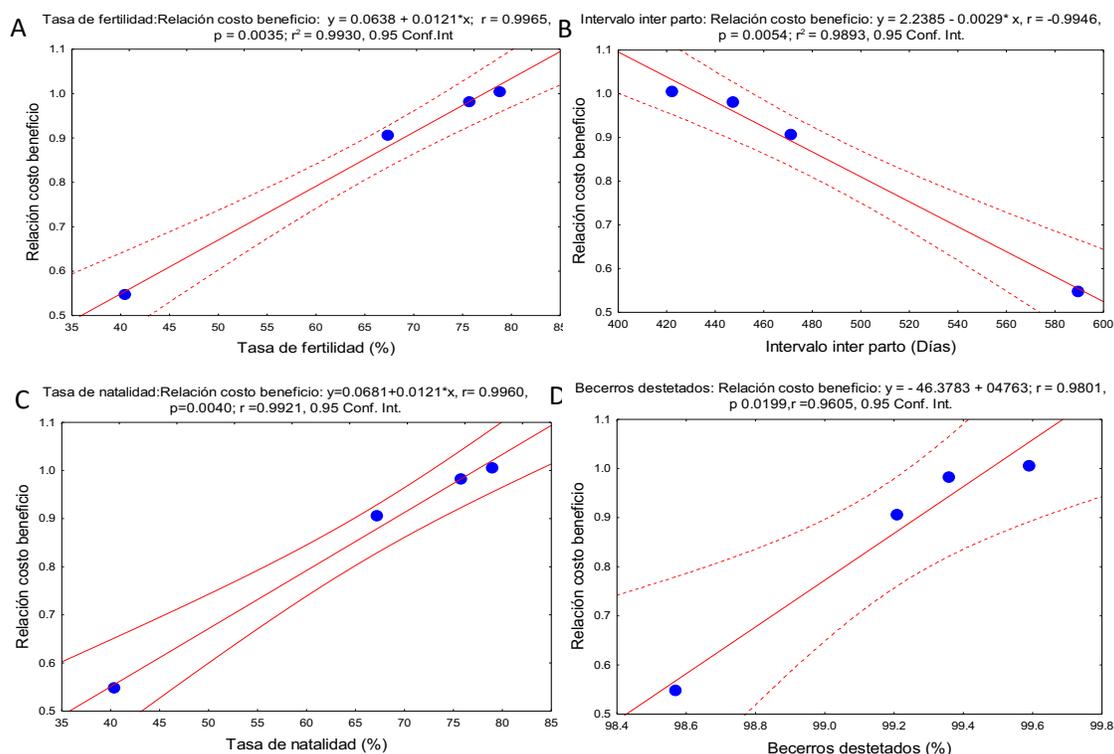


Figura 1. Asociación de parámetros reproductivos y productivos con el costo beneficio. (a) porcentaje de fertilidad total con el costo beneficio; (b) intervalo inter-parto y su relación con el costo-beneficio; (c) tasa de natalidad y su relación con el costo beneficio; (d) becerros destetados en relación con el costo-beneficio.

Fuente: Elaboración propia.

Así, se observó un incremento y/o mejora del costo-beneficio durante los tres años de evaluación, ya que en el año 0 la relación costo-beneficio fue de 0.55 y alcanzó la proporción de 1.00 en el año 3. Esto se atribuye al uso continuo de las tecnologías productivas, que permitieron mejorar la eficiencia reproductiva al aumentar la cantidad de gestaciones y partos, así como a los precios de venta con los que contaba el mercado al momento de vender los becerros. La relación costo-beneficio puede presentar variaciones entre 1.12 y 2.23, según los factores que intervienen en el proceso de producción (Arciniegas-Torres & Flórez-Delgado, 2018; Retes-López *et al.*, 2013). Sin embargo, generalmente, esta relación tiende a ser mayor y/o más favorable en UP donde se implementan este tipo de prácticas y/o tecnologías productivas en comparación con hatos donde no se realizan (Fynn & Jackson, 2022; Groenendaal *et al.*, 2015; Marshall *et al.*, 2020). Adicionalmente, debe considerarse que en toda UP que pretenda incluir en su proceso productivo este tipo de tecnologías productivas (suplementación alimenticia, manejo sanitario y reproductivo), o cualquier otra, éstas deben diseñarse conforme a las necesidades y objetivos de los productores.

Conclusiones

La implementación de las tecnologías productivas mejoró la CC de los toros y su desempeño reproductivo, así como la CC, TFT, TN, BD de las vacas y disminuyó el IEP. Sin embargo, sólo se obtuvo el punto de equilibrio en relación con la inversión realizada en las tecnologías implementadas. Adicionalmente, la implementación de tecnológicas debe diseñarse de manera precisa según las necesidades y objetivos de los productores.

Agradecimientos

A los ganaderos de la localidad de Nopalapan, Veracruz, por su disposición, colaboración y apoyo mostrado en todo momento para el desarrollo del estudio.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Amiri, Z., Maghsoudi, A., Asgharipour, M. R., Nejati-Javaremi, A., & Campbell, D. E. (2022). The semi-intensive production model: a strategy based on energy and economic analyses to realize sustainability in the ecosystem of Sistani beef cattle raising in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132304. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132304>
- Arciniegas-Torres, S. P., & Flórez-Delgado, D. F. (2018). Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. *Ciencia y Agricultura*, 15(2), 107-116. <https://www.redalyc.org/journal/5600/560064389006/html/>
- Baldwin, T., Ritten, J. P., Derner, J. D., Augustine, D. J., Wilmer, H., Wahlert, J., Anderson, S., Irisarri, G., & Peck, D. E. (2022). Stocking rate and marketing dates for yearling steers grazing rangelands: Can producers do things differently to increase economic net benefits?. *Rangelands*, 44(4), 251-257. <https://doi.org/10.1016/j.rala.2022.04.002>
- Banco de México (Banxico). (2023). *Portal del mercado cambiario*. Banxico.org. <https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=tip&idioma=sp>
- Barth, A. D. (2018). Review: the use of bull breeding soundness evaluation to identify subfertile and infertile bulls. *Animal*, 12(1), 158-164. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000538>
- Cienfuegos-Rivas, E. G., de Orúe-Ríos, M. A. R., Briones-Luengo, M., & Martínez-González, J. C. (2006). Estimation of pre-weaning productive performance and genetic parameters in beef cattle (*Bos taurus*) and crosses, VIII Region of Chile. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 38(1), 69-75. <https://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2006000100010>
- Diskin, M. G., & Kenny, D. A. (2016). Managing the reproductive performance of beef cows. *Theriogenology*, 86(1):379-387. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.052>
- D'Occhio, M. J., Baruselli, P. S., & Campanile, G. (2019). Influence of nutrition, body condition, and metabolic status on reproduction in female beef cattle: a review. *Theriogenology*, 125, 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.11.010>
- Fynn, R., & Jackson, J. (2022). Grazing management on commercial cattle ranches: incorporating foraging ecology and biodiversity conservation principles. *Rangelands*, 44(2), 136-147. <https://doi.org/10.1016/j.rala.2022.02.004>
- Geary, T. W., Waterman, R. C., Van Emon, M. L., Ratzburg, C. R., Lake, S., Eik, B. A., Armstrong, D. R., Zezeski, A. L., & Heldt, J. S. (2021). Effect of supplemental trace minerals on standard and novel measures of bull fertility. *Theriogenology*, 172, 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.07.006>
- González-Pérez, J. M. (2016). Evaluación económica de una engorda de toretes en dos sistemas de alimentación. *Ciencia Ergo Sum*, 23(2), 154-162. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10446094007>
- Groenendaal, H., Zagmutt, F. J., Patton, E. A., & Wells, S. J. (2015). Cost-benefit analysis of vaccination against *Mycobacterium avium* ssp. paratuberculosis in dairy cattle, given its cross-reactivity with tuberculosis tests. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 6070-6084. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8914>
- Haley, D. B., Bailey, D. W., & Stookey, J. M. (2005). The effects of weaning beef calves in two stages on their behavior and growth rate. *Journal of Animal Science*, 83(9), 2205-2214. <https://doi.org/10.2527/2005.8392205x>

- Hancock, A. S., Younis, P. J., Beggs, D. S., Mansell, P. D., Stevenson, M. A., & Pyman, M. F. (2016). An assessment of dairy herd bulls in southern Australia: 1. Management practices and bull breeding soundness evaluations. *Journal of Dairy Science*, 99(12), 9983-9997. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10493>
- Harrison, T. D., Chaney, E. M., Brandt, K. J., Ault-Seay, T. B., Schneider, L. G., Strickland, L. G., Schrick, F. N., & McLean, K. J. (2022). The effects of differing nutritional levels and body condition score on scrotal circumference, motility, and morphology of bovine sperm. *Translational Animal Science*, 6(1), txac001. <https://doi.org/10.1093/tas/txac001>
- Herrero, M., Grace, D., Njuki, J., Johnson, N., Enahoro, D., Silvestri, S., & Rufino, M. C. (2013). The roles of livestock in developing countries. *Animal*, 7(1), 3-18. <https://doi.org/10.1017/S1751731112001954>
- Hill, F. I., Reichel, M. P., & Tisdall, D. J. (2010). Use of molecular and milk production information for the cost-effective diagnosis of bovine viral diarrhoea infection in New Zealand dairy cattle. *Veterinary Microbiology*, 142(1-2), 87-89. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.09.047>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). [Nopalapan] <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=300940030>
- Kayser-Alarcón, Y., Montiel-Palacios, F., Severino-Lendecky, V. H., Canseco-Sedano, R., Ahuja-Aguirre, C. C., Barrientos-Morales, M., & Molina-Marcial, O. (2023). Caracterización tecnológica de ganaderos y su percepción sobre la transferencia de embriones en Guerrero, México. *Acta Universitaria*, 33(1), 1-12. <https://www.scielo.org.mx/pdf/au/v33/2007-9621-au-33-e3745.pdf>
- Kebebe, E. (2019). Bridging technology adoption gaps in livestock sector in Ethiopia: A innovation system perspective. *Technology in Society*, 57, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.12.002>
- Machen, R. V., Sawyer, J. E., Bevers, S. J., & Mathis, C. P. (2021). Measuring economic sustainability at the ranch level. *Rangelands*, 43(6), 240-245. <https://doi.org/10.1016/j.rala.2021.10.005>
- Macmillan, K., Gobikrushanth, M., Helguera, I. L., Behrouzi, A., & Colazo, M. G. (2020). Relationships between early postpartum nutritional and metabolic profiles and subsequent reproductive performance of lactating dairy cows. *Theriogenology*, 151, 52-57. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.03.034>
- Mageste, D., Lopes, A., Fonseca, M., da Silva, T. E., Detmann, E., & Marcondes, M. I. (2022). Performance of *Bos indicus* beef cattle supplemented with mineral or with concentrates in tropical *Urochloa decumbens* pastures: a meta-regression approach. *Animal Feed Science and Technology*, 283, 115178. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115178>
- Marshall, K., Salmon, G. R., Tebug, S., Juga, J., MacLeod, M., Poole, J., Baltenweck, I., & Missohou, A. (2020). Net benefits of smallholder dairy cattle farms in Senegal can be significantly increased through the use of better dairy cattle breeds and improved management practices. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8197-8217. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17334>
- Matsunaga, M., Demehmans, P. F., Toledo, P. E. N., Dulley, R. D., & Pedroso, I. A. (1976). *Methodology to estimate cost of production*. Applied Economics Institute, Secretaria de Agricultura de São Paulo.
- McGowan, M. (2022). Infectious diseases: Leptospirosis. En P. L. H. McSweeney & J. P. McNamara (eds.), *Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition)* (pp. 339-342). Academic Press.
- Mejía-Bautista, G. T., Magaña, J. G., Segura-Correa, J. C., Delgado, R., & Estrada-León, R. J. (2010). Comportamiento reproductivo y productivo de vacas *Bos indicus*, *Bos taurus* y sus cruces en un sistema de producción vaca: cría en Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2), 289-301. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93913070010>
- Páez-Barón, E. M., & Corredor-Camargo, E. S. (2014). Evaluación de la aptitud reproductiva del toro. *Ciencia y Agricultura*, 11(2), 49-59. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560058659007>
- Parra-Cortés, R. I., & Magaña-Magaña, M. Á. (2019). Características técnico-económicas de los sistemas de producción bovina basados en razas criollas introducidas en México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 535-547. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2160>
- Perea-Ganchou, F., Soto, E., González, C., Soto, G., & Hernández, H. (2005). Factors affecting fertility according to the postpartum period in crossbred dual-purpose suckling cows in the tropics. *Tropical Animal Health and Production*, 37(7), 559-572. <https://doi.org/10.1007/s11250-005-4219-x>

- Peter, A. T., Vos, P. L. A. M., & Ambrose, D. J. (2009). Postpartum anestrus in dairy cattle. *Theriogenology*, 71(9), 1333-1342. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.11.012>
- Pullan, N. B. (1978). Condition scoring of Fulani cattle. *Tropical Animal Health and Production*, 10, 118-120. <https://doi.org/10.1007/BF02235322>
- Ramsey, R., Doye, D., Ward, C., McGrann, J., Falconer, L., & Bevers, S. (2005). Factors affecting beef cow-herd costs, production, and profits. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 37(1), 91-99. <https://doi.org/10.1017/S1074070800007124>
- Retes-López, R., Martín-Rivera, M., Ibarra-Flores, F., Moreno-Medina, S., & Denogean-Ballesteros, F. G. (2013). Análisis de rentabilidad de repasto de becerros en sonora. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 33, 588-598. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14127709018>
- González-Maldonado, J., Rangel-Santos, R., Rodríguez-de Lara, R., & García-Peña, O. (2017). Effect of injectable trace mineral complex supplementation on development of ovarian structures and serum copper and zinc concentrations in over-conditioned Holstein cows. *Animal Reproduction Science*, 181, 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.03.015>
- Ross, A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2012). *Finanzas corporativas* (9ª ed.). McGraw-Hill.
- Salas-Reyes, I. G., Arriaga-Jordán, C. M., Rebollar-Rebollar, S., García-Martínez, A., & Albarrán-Portillo, B. (2015). Assessment of the sustainability of dual-purpose farms by the IDEA method in the subtropical area of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 47, 1187-1194. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0846-z>
- Santman-Berends, I. M. G. A., Mars, M. H., Waldeck, H. W. F., van Duijn, L., Wever, P., van den Broek, K. W. H., & van Schaik, G. (2018). Quantification of the probability of reintroduction of IBR in the Netherlands through cattle imports. *Preventive Veterinary Medicine*, 150, 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.08.024>
- Sarangi, L. N., Chandrasekhar Reddy, R. V., Rana, S. K., Thodangala, N., Muthappa, P. N., & Sharma, G. K. (2021). Sero-diagnostic efficacy of various ELISA kits for diagnosis of infectious bovine rhinotracheitis (IBR) in cattle and buffaloes in India. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 241, 110324. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2021.110324>
- Severino-Lendechy, V. H., Montiel-Palacios F., Ahuja-Aguirre, C. C., Gómez-de Lucio, H., & Chay-Canul, A. J. (2020). Efecto del amantamiento restringido y la complementación alimenticia sobre las ganancias de peso y anestro posparto en vacas cárnicas. *Biotecnia*, 22(1), 109-116. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/1158/370>
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM-Secretaría de Economía). (2023). *Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM)*. Economía-sniim.gob. http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/Home.aspx?opcion=/SNIIM-Pecuarios-Nacionales/e_MenPec.asp?var=Bov
- Sollenberger, L. E., Aiken, G. E., & Wallau, M. O. (2020). Chapter 5 - Managing grazing in forage-livestock systems. En M. Rouquette & G. E. Aiken (eds.), *Management strategies for sustainable cattle production in Southern pastures* (pp. 77-100), Academic Press.
- Torres-Aburto, V. F., Domínguez-Mancera, B., Vázquez-Luna, D., & Espinosa-Ortiz, V. E. (2020). Costo del intervalo interparto en la producción bovina tropical del sureste de México. *Agro Productividad*, 13(7), 45-51. <http://doi.org/10.32854/agrop.vi.1651>
- Zander, K. K., Mwacharo, J. M., Drucker, A. G., & Garnett, S. T. (2013). Constraints to effective adoption of innovative livestock production technologies in the Rift Valley (Kenya). *Journal of Arid Environments*, 96, 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.03.017>