

Inseminación artificial a tiempo fijo: eficiencia reproductiva y beneficio económico

Fixed-time artificial insemination: reproductive efficiency and economic benefit

Raymundo Salvador Gudiño Escandón ; María del Rosario García Barradas ; Vicente Eliezer Vega Murillo

Raymundo Salvador Gudiño Escandón. Catedrático de tiempo completo Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, Veracruz. Correo: rgudino@uv.mx. ORCID: 0000-0002-1013-805X.

María del Rosario García Barradas. Estudiante de posgrado Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, Veracruz. Correo: mariagarciabarradas@gmail.com. ORCID: 0009-0006-0449-584X.

Vicente Eliezer Vega Murillo. Catedrático de tiempo completo Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, Veracruz. Correo: vvega@uv.mx. ORCID: 0000-0002-0847-8944.

Recibido: 18 de enero de 2025.

Aceptado: 25 de marzo de 2025.

DOI: <https://doi.org/10.69504/nau.v4i7.84>

JEL: Q01. Economía agraria. Desarrollo Sostenible.

Resumen

La evaluación económica se realizó mediante el método de ingresos. Los resultados demuestran que la aplicación de GnRH impactó significativamente en la eficiencia reproductiva, obteniendo porcentajes de gestación a primer servicio (GPS) de 0.70 ± 0.07 frente a 0.58 ± 0.09 sin GnRH, y gestación total (GT) de 0.82 frente a 0.68, respectivamente. Aunque el costo por protocolo con GnRH fue ligeramente superior (44.01 USD) en comparación con el protocolo sin GnRH (42.28 USD), el análisis costo-efectividad reveló un beneficio económico superior con GnRH. Específicamente, el

costo por vaca gestante a primer servicio con GnRH fue de 62.95 USD, significativamente menor que los 72.81 USD sin GnRH. De manera similar, el costo por gestación total con GnRH se redujo a 50.56 USD, frente a 61.99 USD sin GnRH. En conclusión, el tratamiento con GnRH resultó ser más eficaz y económicamente ventajoso, al lograr mayores porcentajes de gestación a un menor costo por animal gestante.

Palabras claves: protocolo, GnRH, IATF.



Abstract

The economic evaluation was carried out using the income method. The results show that the application of GnRH significantly impacted reproductive efficiency, obtaining percentages of gestation at first service (GPS) of 0.70 ± 0.07 versus 0.58 ± 0.09 without GnRH, and total gestation (GT) of 0.82 versus 0.68 , respectively. Although the cost per protocol with GnRH was slightly higher (\$44.01 USD) compared to the protocol without GnRH (\$42.28 USD), cost-effectiveness analysis revealed a superior economic benefit with GnRH. Specifically, the cost per pregnant cow at first service with GnRH was 62.95 USD, significantly lower than the 72.81 USD without GnRH. Similarly, the cost per total gestation with GnRH was reduced to USD 50.56 versus USD 61.99 without GnRH. In conclusion, treatment with GnRH proved to be more efficient and economically advantageous, achieving higher gestation percentages at a lower cost per pregnant animal.

Keywords: protocol, GnRH, IATF.

Introducción

De acuerdo con SIAP (2018), en México la ganadería bovina es un pilar del sector primario, generando empleo y un fuerte impacto socioeconómico. Barrón-Bravo et al. (2023), mencionan que, la producción de leche de ganado bovino tiene lugar en variadas condiciones agroecológicas, tecnológicas y socioeconómicas, y se identifican tres sistemas de producción: especializado, semiespecializado y SDP. Estos sistemas enfrentan problemáticas (sequía, cambio climático, parásitos y enfermedades) que pueden impactar en su producción, reproducción, sanidad, manejo y costos (Velázquez et al., 2020). Por lo que son importantes los cuestionamientos sobre la baja eficiencia

y rentabilidad de los sistemas de producción bovina (López-Vigoa et al. 2017). Esta situación subraya la urgente necesidad de un análisis sistémico de la actividad ganadera para asegurar su sostenibilidad económica. El SDP, domina en los trópicos húmedo y subhúmedo. Tiene como objetivo la producción y venta de leche, carne y genética (Cuevas y Rosales, 2018). En el trópico húmedo de México las investigaciones económicas vinculadas con la producción SDP son escasas. Toda vez que no se cuenta con registros productivos y económicos sistemáticos (Gudiño y Villagómez, 2024). Con las condiciones actuales de manejo es difícil lograr un parto por vaca cada año debido a la baja fertilidad anual (40%), malos parámetros reproductivos, aunado a inadecuada detección de celo y baja fertilidad del semental. La Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF), combinada con protocolos de Sincronización de Celo y Ovulación (SCO) mediante el uso de fármacos, emerge como una biotecnología estratégica para mejorar la eficiencia reproductiva y, crucialmente, maximizar el beneficio económico en la producción de leche y carne⁸⁹. Los tratamientos de SCO no solo buscan inducir un celo fértil y una alta tasa de gestación, sino que deben traducirse directamente en rendimientos económicos superiores para los productores. El objetivo del estudio fue evaluar el beneficio económico de la utilización de protocolos de sincronización de celo y ovulación (SCO), con la aplicación de GnRH al momento de la Inseminación artificial (IATF), con efecto de la condición corporal, época del año y hato sobre el porcentaje de gestación a primer servicio y total en vacas en sistema doble propósito (SDP) en el trópico de Veracruz.

1. Marco referencial

La eficiencia reproductiva en los sistemas de producción de la ganadería bovina representa uno de los aspectos económicos más importantes a considerar para

mejorar la producción de carne y leche por vaca/ ha/ año (Fernández et al. 2020). En el trópico de México el sistema doble propósito (SDP), utiliza cruzamientos de *Bos Indicus* por *Bos taurus* con baja eficiencia reproductiva (Gudiño, 2019). Una vaca eficiente desde el punto de vista reproductivo es aquellas que presenta su primer parto a una edad temprana y continúa produciendo un becerro cada año (Medina, 2022). Galina y Geffroy, (2023), mencionan que en los trópicos se dificulta la detección de signos de estro, por las condiciones climáticas y el comportamiento animal durante el mismo. Al respecto, Patterson et al, (2016) señalan que el control farmacológico del estro es una alternativa de solución a esta situación. La sincronización de la ovulación es una técnica efectiva para mejorar el rendimiento reproductivo de los bovinos, que junto con la aplicación de protocolos hormonales permiten realizar la inseminación sin la necesidad de la detección de celo, conocida como inseminación artificial a tiempo fijo (IATF). Al respecto Vasconcelos et al, (2018), mencionan que los tratamientos hormonales tienen como objetivo lograr cuatro resultados fisiológicos: 1) sincronizar una onda folicular ovárica, 2) optimizar las condiciones para el desarrollo del folículo ovulatorio, 3) sincronizar la regresión del cuerpo lúteo (CL), y 4) sincronizar la ovulación. Los tratamientos de sincronización de estros se basan principalmente en el uso de dos tipos de hormonas, progestágenos (principalmente progesterona, (P4) con dispositivos intravaginales bovinos (DIB) y análogos de prostaglandina F2 α (PGF2 α) (Pérez et al. 2022) y en los protocolos de sincronización de la ovulación, adicionalmente se utilizan análogos de estradiol (E2) y gonadotropina coriónica equina (eCG) al retiro del dispositivo, así como GnRH, 48 a 52 h al momento de realizar la IATF (Bó y Baruselli, 2014).

La inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) se utiliza ampliamente en la producción ganadera para

sincronizar la reproducción, mejorar la eficiencia reproductiva y potenciar el progreso genético. La investigación muestra consistentemente que la IATF conduce a beneficios económicos significativos al aumentar las tasas de gestación, mejorar la productividad del rebaño y generar mayores rendimientos por animal. Medir el beneficio económico de la IATF es fundamental para justificar su adopción, optimizar inversiones y asegurar la rentabilidad en los sistemas de producción animal. La evaluación económica permite determinar si la IATF realmente mejora la productividad y los ingresos en comparación con métodos tradicionales, y ayuda a tomar decisiones informadas sobre su implementación.

Razones para Medir el Beneficio Económico: el análisis del beneficio económico ayuda a los productores a decidir si la inversión en protocolos de IATF y tecnologías asociadas (como hormonas o semen sexado) es rentable frente a la inseminación convencional o la monta natural (Walsh et al., 2022; 12. Agutu et al., 2024). Nos permite identificar en qué condiciones (por ejemplo, buenas prácticas de manejo) la IATF genera mayores retornos, y cuándo podría no ser viable económicamente, evitando así pérdidas (Agutu et al., 2024). Medir el beneficio económico revela la sensibilidad de la rentabilidad ante cambios en los costos (como el precio de hormonas) o en la eficiencia reproductiva, ayudando a gestionar riesgos y planificar mejor (Walsh et al., 2022; 12. Agutu et al., 2024).

Beneficios económicos en la ganadería: en el ganado lechero la IATF aumenta la eficiencia reproductiva, reduce el intervalo entre partos y eleva el porcentaje de vacas en lactancia. Esto resulta en más gestaciones, mayor producción de leche y mayores ingresos. En un estudio por Carvalho et al. (2016), encontraron que la IATF llevó a 12 gestaciones más y 13,140 litros adicionales de leche por año, resultando en un impacto

económico positivo anual de R\$16,600.73 después del segundo año, a pesar de los costos iniciales más altos en comparación con la monta natural. En ganado de carne los protocolos de IATF y sincronización de celo aumentan la tasa de destete y mejoran los pesos de destete, lo que lleva a una ventaja económica neta de \$49.14 por vaca expuesta a empadre en comparación con la monta (Rodgers et al., 2012). Ferraz et al. (2012), mencionan que la adopción a gran escala en Brasil podría generar hasta US\$342 millones/año en ingresos adicionales, principalmente a través de incrementos en los pesos al destete y al año de edad de los terneros.

Factores que Influyen en el Impacto Económico: la rentabilidad de la IATF depende en gran medida de una gestión óptima. En los mejores escenarios con un buen manejo, los protocolos de FTAI generan un valor presente neto positivo y altos índices de beneficio-coste. Una mala gestión puede anular estos beneficios (Agutu et al., 2024). Los rendimientos económicos pueden variar según la fertilidad y la genética del rebaño, pero en general, la IATF apoya un mayor flujo de ingresos y productividad independientemente del grupo genético (Sitko et al., 2023). La IATF mejora consistentemente la eficiencia reproductiva y los rendimientos económicos en la producción de leche y carne de res. Los mayores beneficios se obtienen cuando la IATF se combina con buenas prácticas de manejo, lo que la convierte en una inversión valiosa para las operaciones comerciales de ganado.

Referentes de valor y competitividad de la IATF: esta tecnología en el ganado bovino no solo se evalúa por su impacto económico, sino también por otros referentes clave de competitividad que determinan su valor en los sistemas productivos modernos. Estos referentes incluyen la mejora genética, la eficiencia reproductiva, la capacidad de adaptación a diferentes sistemas de manejo y la integración con otras biotecnologías. Mejora

genética y valor productivo: la IATF permite la introducción sistemática de genética superior, mejorando la productividad de carne y leche, así como la rusticidad del ganado. Esto eleva el valor reproductivo y productivo del hato, haciéndolo más competitivo a nivel local, nacional e internacional (Silva et al., 2019). El uso de semen probado de animales altamente productivos acelera el progreso genético y la calidad del rebaño (Bó y Baruselli 2014; Silva et al., 2019). Eficiencia reproductiva y tasas de preñez: la IATF elimina la necesidad de detección de celo, permitiendo inseminar grandes lotes de animales en un solo evento, lo que incrementa la tasa de preñez, reduce la variabilidad reproductiva y los costos asociados a personal que checa calores en los animales (Meneghetti et al., 2019; Bó y Baruselli 2014). Los protocolos bien diseñados se logran tasas de preñez entre 40% y 55% en condiciones comerciales, optimizando la eficiencia reproductiva (Meneghetti et al., 2019; Carvalho et al., 2023). La IATF puede combinarse con transferencia de embriones y uso de semen sexado, maximizando la obtención de crías de un sexo deseado o de mayor valor genético (Morotti et al., 2025; Pellegrino et al., 2016). La integración de estas tecnologías amplía las opciones estratégicas para los productores y mejora la competitividad global de los sistemas de producción de bovinos.

La IATF es competitiva no solo por su rentabilidad, sino también por su capacidad de acelerar el mejoramiento genético, aumentar la eficiencia reproductiva, adaptarse a diferentes sistemas de producción y facilitar la integración con otras biotecnologías, posicionando a los productores para competir en mercados exigentes y globalizados.

2. Metodología

La investigación se desarrolló en 5 UPP's de la zona tropical del centro de Veracruz, México, en los

municipios de Paso de Ovejas, Jamapa, Alvarado, Medellín de Bravo y Ángel R. Cabada. Las coordenadas geográficas entre las que está situado son: 17° 03'56" y 22° 27'28" de Latitud Norte y 93° 36'13" y 98° 36'00" de Longitud Oeste. A una altitud del nivel del mar hasta 50 msnm, la duración de período lluvioso es de 6 meses (INEGI, 2018).

Materiales diversos

Aplicadores de dispositivos intravaginales, guantes de exploración rectal, equipo de inseminación, termos de conservación de semen, desinfectantes, guantes de látex, jeringas y agujas.

Material biológico y hormonas

Vientres en SDP tradicional, producción ganado bovino cruzado de diferentes genotipos (cebú x europeo/cebú/europeo x europeo x cebú), dispositivo intravaginal bovino (DIB), de silicona inerte impregnada con un 1.9 g de progesterona natural de liberación controlada, benzoato de estradiol, prostaglandina f2 ò dinoprost trometamina, cipionato de estradiol, gonadotropina coriónica equina, acetato de buserelina (GnRH), semen congelado (elección del propietario de la UPP), con revisión del semen al momento de la IATF y MN con toros evaluados en su capacidad reproductiva.

Diseño experimental

En las unidades de producción la selección de los vientres se realizó al inicio del estudio con base a estado reproductivo, condición corporal y época del año (cuadro 1); Las vacas se inseminaron y quedaron con toros en MN, el diagnóstico de gestación a primer servicio se diagnosticó por palpación transrectal a los 40 a 50 días después de haber sido inseminadas, considerando los hallazgos más confiables (Asimetría uterina, membranas fetales deslizables, vesícula amniótica y tamaño del CL) y gestación total a los tres-cuatro meses de la

inseminación por un médico veterinario especialista en reproducción.

Cuadro 1

Unidades productivas participantes en la investigación

Unidad	No. de animales
1	189
2	70
3	42
4	55
5	77
Total	433

Fuente: elaboración propia.

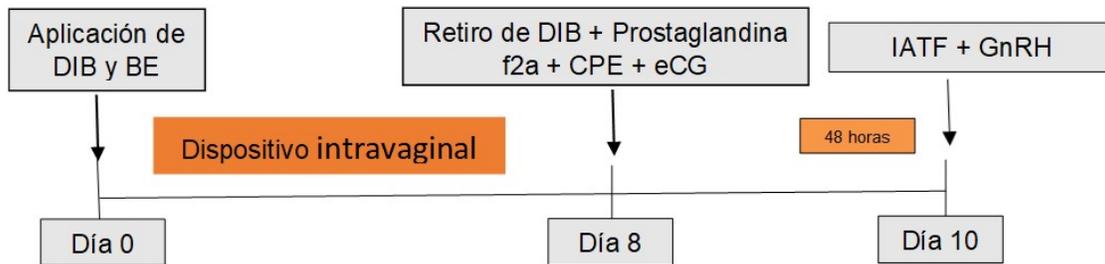
El protocolo utilizado para la sincronización del celo e IATF (figura 6), consistió en la inserción del DIB (dispositivo de liberación de progesterona para bovinos) y en la administración de 2mg de benzoato de estradiol el Día 0 (para sincronizar la emergencia de la onda folicular y evitar el desarrollo de folículos persistentes) (Barreiros et al 2014). Prostaglandina f2 ò (Dinoprost trometamina 25mg, equivalente a 5ml), al momento de la remoción del DIB el día 8 (para asegurar la luteólisis). (Bó, et al., 2009). Al retiro del progestágeno, se aplicó 1mg de cipionato de estradiol que induce una retroalimentación positiva sobre el hipotálamo produciendo a su vez la liberación de GnRH, la cual es capaz de aumentar los pulsos y la frecuencia de la hormona Luteinizante (LH), logrando con ello que se unifique y se reduzca el tiempo en que se presenta la ovulación (Santos et al, 2014). Además, se administró eCG (Gonadotropina coriónica equina, 400 UI equivalente a 2ml), al momento de retirar el DIB para mejorar el crecimiento de los folículos en vacas en posparto (Baruselli et al., 2004), y al realizar la inseminación artificial se utilizó GnRH (acetato buserelina 0.0008g, equivalente 2ml), con lo cual se

buscó inducir la ovulación del nuevo folículo dominante, en caso de que no ocurra la ovulación en forma espontánea y si existe un folículo preovulatorio la GnRH inmediatamente induce la descarga de FSH y LH

muy similar a la descarga efectuada antes de la ovulación, con la finalidad de incrementar el porcentaje de gestación (Lamb et al 2009).

Figura 1

Tratamiento y hormonas utilizadas en el protocolo



Fuente: elaboración propia.

Manejo de animales en las unidades de producción

Alimentación: Todas las UPP, desarrollaron pastoreo rotacional en zacate Pará (*Brachiaria mutica*), estrella (*Cynodon nlemfuensis*), pangola (*Digitaria eriantha*), Grama común (*Cynodon dactylon*), y suplementación con alimento concentrado comercial al 18%, el cual fue suministrado al momento de la ordeña con una cantidad de 2 kg por vaca, además de sales minerales y agua a libre acceso.

Sanidad: se realizó un control sanitario con vacuna para las enfermedades que afectan en la zona (derriengue y clostridiales), aunado a esto se realiza desparasitación interna (gastrointestinales y pulmonares) externa (Garrapata).

Genética: desarrollan cruzamientos genéticos definidos, los genotipos de los animales en estudio

fueron (cebú, europeo x cebú, y europeo x europeo x cebú). Utilizan sementales (Brahman, Guzerat, Montbeliarde/Cebú).

Reproducción: con inseminación artificial (IA) inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), o monta controlada (MC).

Manejo del ordeño: se realizó con amamantamiento restringido de la cría. Los primeros 60 días de edad, a los terneros se les dejó un cuarto de ubre más leche residual y luego sólo leche residual hasta el destete.

Diseño experimental

En las unidades de producción la selección de los vientres se realizó al inicio del estudio con base a estado reproductivo, condición corporal (CC) y época del año (EA). Las vacas se inseminaron y quedaron con toros en MC, el diagnóstico de gestación a primer servicio se

realizó por palpación transrectal a los 40 a 50 días después de haber sido inseminadas, considerando los hallazgos más confiables (Asimetría uterina, membranas fetales deslizables, vesícula amniótica y tamaño del CL) y gestación total a los tres-cuatro meses de la inseminación por un médico veterinario especialista en reproducción. Se diagnosticaron por palpación transrectal a 40 y 90 días de IATF respectivamente. De acuerdo con Bó y Baruselli (2014), el protocolo para IATF: día 0 inserción del dispositivo intravaginal (DIB) impregnado de 1.2g de progesterona y 2mg de benzoato de estradiol. Día 8 remoción DIB, 25 mg prostaglandina f2 α , 1mg cipionato estradiol, 400 UI eCG. Día 10 (48hrs retirado DIB) IATF y GnRH (acetato busarelina 0.0008g) con monta controlada (MC), 15 días después de la IATF. Se realizó análisis económico del protocolo con y sin GnRH.

Análisis estadístico

Para el análisis de la información se utilizó un diseño completamente al azar. Debido a la naturaleza dicotómica de las variables de respuesta se utilizó un modelo lineal generalizado asumiendo una distribución binomial de las variables tasa de gestación a primer servicio (GPS) y total (GT), en vacas en sistema doble propósito (VSDP). Los vientres se seleccionaron con base a CC y EA, la GPS y GT. El modelo incluyó los efectos fijos de hato (H) (5 hatos), tratamiento con o sin GnRH, EA (lluvias y secas) y CC de la hembra con 4 niveles (2.5, 3, 3.5 y 4) de acuerdo con lo mencionado por Lowman et al. (1976). Las comparaciones entre medias de los efectos fijos considerados en el modelo se realizaron con base en la diferencia mínima significativa protegida de Fisher.

Evaluación económica

Para realizar la evaluación económica, se registró en forma ordenada y sistemática las entradas (ingresos) y salidas (egresos) de los fármacos utilizados en la SCO e

IATF en función de la producción. El método que se utilizó para definir los indicadores económicos fue el de ingresos, se emplearon los precios corrientes o de mercado, para lograr determinar los indicadores gastos de operación, la relación beneficio costo (Aguilar *et al.*, 2011). En una hoja de cálculo de Microsoft Excel se agruparon los datos de campo.

3. Resultados

En el Cuadro 2 se presentan los niveles de significancia para los efectos incluidos en los modelos de análisis de gestación a primer servicio y gestación total en hembras bovinas en sistema de doble propósito.

Cuadro 2

Niveles de significancia para los efectos incluidos en los modelos de análisis de concepción a primer servicio y concepción total en hembras bovinas en sistemas de doble propósito

Fuente de Variación	Pr > F	
	Gestación a Primer Servicio	Gestación Total
Hato	<.0001	<.0001
Utilización de GnRH	0.511	0.014
Época	0.015	0.004
Condición corporal	<.0001	0.000

Fuente: elaboración propia

Gestación a Primer Servicio

Los efectos de hato, época y condición corporal fueron significativos ($p < .01$). En el cuadro 3 se presentan las medias de cuadrados mínimos y errores estándar para los efectos considerados en los modelos de análisis de gestación a primer servicio y gestación total en hembras

bovinas en sistema de doble propósito. La menor gestación a primer servicio se tuvo en los hatos 4 y 5 en los cuales se presentó condición corporal de 2.5 a 3.0 con porcentaje de gestación de 0.57 ± 0.07 y 0.61 ± 0.09 respectivamente, seguidas del hato 2 con condición corporal de 3 y gestación de 0.65 ± 0.05 ; y la mayor gestación se tuvo en los hatos 1 y 3 con condición corporal de 3. 3.5 y 4 con gestación de 0.69 ± 0.07 y 0.72 ± 0.09 respectivamente. Por otra parte, la utilización o no de GnRH afectó el porcentaje de gestación a primer servicio 0.70 ± 0.07 y 0.58 ± 0.09 respectivamente. Se encontró mayor porcentaje de gestación a primer servicio en la época de secas que en la de lluvias 0.69 ± 0.08 y 0.58 ± 0.06 respectivamente. En la condición corporal, los animales con condición corporal 4, 3.5 y 3 tuvieron mayor gestación a primer servicio 0.68 ± 0.00 , 0.69 ± 0.07 y 0.67 ± 0.08 respectivamente que el resto de los animales; la condición corporal 2.5 fue la más baja, con 0.57 ± 0.07 de gestación a primer servicio, sin embargo, este resultado nos indica el efecto positivo del uso del

GnRH en animales comprometidos en su condición corporal.

Gestación Total

La menor gestación total fue para el hato 4, con 0.71 ± 0.04 , el cual tuvo animales con condición corporal de 2.5 a 3 y la mayor gestación para el hato 3, con gestación de 0.88 ± 0.04 y condición corporal de 3. 3.5 y 4. (Cuadro 3). El porcentaje de gestación total para las hembras a las que se les aplicó GnRH fue mayor que a las que no se les aplicó (0.82 vs 0.68 ; $p < .05$). Las hembras en época de secas tuvieron mayor porcentaje de gestación total que en época de lluvias ($p < .05$). De manera similar al porcentaje de gestación a primer servicio, el porcentaje de gestación total fue mayor para las hembras con condición corporal 3, 3.5 y 4, y la más baja para los de la condición corporal 2.5 Sin embargo están por arriba del promedio de lo obtenido con IATF sin el uso de GnRH en esta condición corporal.

Cuadro 3

Gestación a primer servicio y gestación total en hembras bovinas en sistema de doble propósito

Efecto	n	Gestación a Primer Servicio %	Gestación Total %
Hato	1 189	0.69 ± 0.07^b	0.86 ± 0.06^c
	2 70	0.65 ± 0.05^b	0.79 ± 0.09^c
	3 42	0.72 ± 0.09^c	0.88 ± 0.04^c
	4 55	0.57 ± 0.07^a	0.71 ± 0.04^c
	5 77	0.61 ± 0.09^{ab}	0.76 ± 0.04^b
Utilización de GnRH	Con GnRH	0.70 ± 0.07^a	0.87 ± 0.07^a
	Sin GnRH	0.58 ± 0.09^b	0.68 ± 0.06^b
Época	Lluvias	0.58 ± 0.06^a	0.64 ± 0.06^a
	Secas	0.69 ± 0.08^b	0.77 ± 0.06^b

Cuadro 3

Continuación...

Efecto	n	Gestación a Primer Servicio %	Gestación Total %
Condición Corporal	4	0.68 ± 0.00 ^a	0.87 ± 0.08 ^a
	3.5	0.69 ± 0.07 ^a	0.88 ± 0.07 ^a
	3	0.67 ± 0.08 ^a	0.80 ± 0.09 ^a
	2.5	0.57 ± 0.08 ^b	0.65 ± 0.09 ^b

^{a, b, c, d} Literales diferentes dentro de columna son estadísticamente diferentes ($p < .05$).

Fuente: elaboración propia.

En los cuadros 4 y 5 se presentan los costos por tratamiento con y sin GnRH y los costos por tratamiento por vaca gestante en USD, respectivamente. El costo por tratamiento (protocolo) con y sin GnRH fue de 44.01 USD y 42.28USD respectivamente. El costo por GPS con y sin GnRH fue de 62.95 USD, 72.81 USD respectivamente, y GT con y sin GnRH 50.56 USD y

61.99 USD respectivamente. El tratamiento con GnRH es el más eficaz ya que se obtuvo el mayor porcentaje de GPS y GT en los hatos con hembras en CC 2.5 a 4; obteniendo mayor porcentaje de GPS y GT en época de seca que en época de lluvia, con mayor costo del tratamiento con GnRH pero un menor costo por vaca gestante con el uso de GnRH.

Cuadro 4

Costo por tratamiento con y sin GnRH (\$ USD)

Costo por tratamiento con y sin GnRH (\$ USD)					
	Unidad	Costo mercado	Costo Unitario con GnRH	Costo Unitario sin GnRH	Dosis
Dispositivo	1	99.05	9.90	9.90	1
Benzoato de estradiol	50 ml	17.33	0.34	0.34	2 mg
Prostaglandina	30 ml	14.85	2.47	2.47	25 mg
ECP	10 ml	9.90	0.49	0.49	1 mg
ECG	24 ml	51.11	4.25	4.25	200 UI
GnRH	10 ml	43.33	1.73	0	2 mg
Semen	1	9.90	9.90	9.90	1
Servicio IA	1	148.5	14.85	14.85	1
Total		393.97	43.93	42.2	

Fuente: elaboración propia.

La efectividad mejorada de GnRH se tradujo en una ventaja económica considerable. Específicamente, el costo por vaca gestante a primer servicio (GPS) fue significativamente menor con la aplicación de GnRH, ascendiendo a 62.95 USD, frente a los 72.81 USD sin GnRH. De manera similar, el costo por gestación total (GT) se redujo a 50.56 USD con GnRH, mientras que sin

este tratamiento, alcanzó los 61.99 USD. Estos datos demuestran que, a pesar de una inversión inicial marginalmente mayor por protocolo, el uso de GnRH resulta en un costo por animal gestante considerablemente inferior, lo que se traduce en una mayor rentabilidad para las unidades productivas.

Cuadro 5

Costos por tratamiento y vaca gestante (\$ USD)

Tratamiento	N° vacas	N° vacas gestantes 1er servicio		N° vacas gestantes total		Costo por vaca (USD)	Costo total (USD)	Costo vaca gestante 1° servicio (USD)
		%	(n)	%	(n)			
Con GnRH	216	0.70	151	0.87	188	43.93	9,488.8	62.83
Sin GnRH	217	0.08	126	0.68	148	42.2	9,175	72.81

Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

Se concluye que la aplicación de GnRH al momento de la IATF impacta positivamente la eficiencia reproductiva y el beneficio económico en vacas doble propósito. A pesar de un costo por protocolo ligeramente mayor con GnRH (44.01 USD vs. 42.28 USD sin GnRH), el análisis costo-efectividad reveló una ventaja económica contundente. El costo por gestación a primer servicio (GPS) fue de 62.95 USD con GnRH, significativamente menor que los 72.81 USD sin GnRH. De manera aún más relevante, el costo por gestación total (GT) se redujo a 50.56 USD con GnRH, frente a 61.99 USD sin GnRH. Estos resultados demuestran que el tratamiento con GnRH es el más eficaz y económicamente ventajoso, ya que logra mayores porcentajes de GPS y GT (0.70 ± 0.07 vs. 0.58 ± 0.09 para GPS, y 0.82 vs. 0.68 para GT), traduciéndose en un menor costo por vaca gestante y, por ende, en una mayor rentabilidad para los productores, especialmente en épocas de seca y en hembras con diversas condiciones corporales (2.5 a 4).

Referencias

- Aguilar B, U., Bueno D, H.M., Pérez S, J.M., Lagunes L, J., Román P, H., & Rodríguez C, M.A. (2011). Manual de evaluación económica para ranchos ganaderos. Publicación especial. Campo Experimental La Posta, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz, México. 22 pp.
- Agutu, F. O, Mbuku, S. M., Ondiek, J. O., & Bebe, B. O. (2024). Economic viability of using OvSynch and fixed timed artificial insemination protocol in breeding improvement of pastoral herds in the rangelands. *Tropical animal health and production*, 56(68). <https://doi.org/10.1007/s11250-024-03907-1>



- Barrón, B. O. G., Avilés R. R., Sahagún, Á. C. A., Alcalá, R. J. S. G. J., Arispe, V. J., & Garza, C. R. D. (2023). Caracterización de unidades de producción familiar de bovinos, Llera, Tamaulipas, México. *Abanico Boletín Técnico*, 2, 1-21.
- Bó, G. A., y Baruselli, P. S. (2014). Sincronización de la ovulación y la inseminación artificial a tiempo fijo en ganado vacuno. Animación. En t. J. Anim. Biosci. 8, 144-150.
- Carvalho, B., Sá, C., Cavalcante, F., Júnior, J., & Bayma, M. (2016). Economic impact of artificial insemination and fixed-time AI in dairy herd in Acre state. *Animal reproduction*, 13, 456-456.
- Carvalho, R., Cooke, R., Cappelozza, B., Peres, R., Pohler, K., & Vasconcelos, J. (2022). Influence of body condition score and its change after parturition on pregnancy rates to fixed-timed artificial insemination in Bos indicus beef cows. *Animal reproduction science*, 243, 107028. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.107028>
- Cuevas, R. V., Rosales N, C. (2018). Characterization of the dual-purpose bovine system in northwest Mexico: producers, resources and problematic. *Rev. Mvz Córdoba*, 23(1), 6448-6460.
- Fernández, R., Biga, P., Di Masso, R. J., & Marini, P. (2020). Economic evaluation of productive and reproductive indicators in dairy cows with different ages at first calving, in grazing systems. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(4), 493-501.
- Ferraz, J., Eler, J., & Rezende, F. (2012). Impact of using artificial insemination on the multiplication of high genetic merit beef cattle in Brazil. *Animal reproduction*, 9, 133-138.
- Galina, C. S., & Geffroy, M. (2023). Ganado de doble propósito criado en condiciones tropicales: ¿Cuáles son sus deficiencias en una buena función productiva y reproductiva? *Animales*. 2023, 13(13), 2224.
- Gudiño, & Villagómez. (2024). La importancia del análisis económico en ciencias agroalimentarias. Primera jornada de difusión y divulgación de las ciencias económico-administrativas. CITEC. Universidad de Guadalajara.
- Gudiño, E. R. S. (2019). Potencial del extensionismo pecuario, con la aplicación del MIRB (Manejo integral de la reproducción bovina) en el ganado Veracruzano. Memorias del XLIII Congreso Nacional de Buiatría, Boca del Río Veracruz. 44-69.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística. Geografía e Informática. (2018). Marco Geoestadístico. Panorama sociodemográfico de México. México. INEGI. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825078065>
- López V. O., Sánchez S. T., Iglesias G. J. M., Lamela L. L., Soca P. M., & Arece G.J., (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*, 40, 83-95.
- Lowman, B. G., Scott, N. A., & Somerville, S. H. (1976). Condition Scoring of Cattle. *East of Scotland College of Agriculture, boletín núm. 6*.
- Medina, A. S. (2022). 28° DIA DEL GANADERO. 28° Día del Ganadero 2022 CEIEGT FMVZ UNAM, 69.



- Meneghetti, M., Sá Filho, O. G., Peres, R. F. G., Lamb, G. C., & Vasconcelos, J. L. M. (2009). Fixed-time artificial insemination with estradiol and progesterone for *Bos indicus* cows I: basis for development of protocols. *Theriogenology*, *72*(2), 179-89.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.02.010>
- Morotti, F., Gomes dos Santos, G. M., Silva-Santos, K. C., Ayres Dias, J. H., & Seneda, M. M. (2025). Strategic use of estrus intensity to combine timed artificial insemination and embryo transfer in large-scale cattle reproduction programs. *Theriogenology*, *235*(15 de marzo de 2025), 162-167.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2025.01.009>
- Patterson, D. J., Cooke, R. F., Dahlke, G. R., Funston, R. N., Hall, J. B., Lamb, G. C., Lauderdale, J., Perry, G. A., & Van Eenennaam, A. L. (2016). Physiological and management advances enhancing adoption of applied reproductive management procedures in beef cattle. *Journal of Animal Science*, *94*(Issue suppl_5 de octubre de 2016), 560-561.
<https://doi.org/10.2527/jam2016-1168>
- Pellegrino, C. A. G., Morotti, F., Untura, R. M., Pontes, J. H. F., Pellegrino, M. F. O., Campolina, J. P., Seneda, M. M., Barbosa, F. A., & Henry, M. (2016). Use of sexed sorted semen for fixed-time artificial insemination or fixed-time embryo transfer of in vitro-produced embryos in cattle. *Theriogenology*, *86*(3), 888-893.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.010>
- Pérez-Ruiz, E., Quezada-Casasola, A., Carrera-Chávez, J. M., Álvarez-Holguín, A., Ochoa-Rivero, J. M., Chávez-Ruiz, M. G., & Román-Ponce, S. I. (2022). Función ovárica y respuesta a la sincronización del estro en ganado Criollo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuaria*, *13*(2), 422-451.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.6032>
- Rodgers, J. C., Bird, S. L., Larson, J. E., Dilorenzo, N., Dahlen, C. R., DiCostanzo, A., & Lamb, G. C. (2012). An economic evaluation of estrous synchronization and timed artificial insemination in suckled beef cows. *Journal of Animal Science*, *90*(11), 4055-4062.
<https://doi.org/10.2527/jas.2011-4836>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP. (2018). La ganadería: símbolo de fortaleza del campo mexicano.

Sitko, E. M., Di Croce, F. A., McNeel, A. K., Weigel, D. J., & Giordano, J. O. (2023). Effect of reproductive management programs that prioritized artificial insemination at detected estrus or timed artificial insemination on the economic performance of primiparous Holstein cows of different genetic merit for fertility. *Journal of Dairy Science*, *106*(9), 6495-6514. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22674>

Vasconcelos, J. L. M., Pereira, M. H. C., Wiltbank, M. C., Guida, T. G., Lopes, F. R., Sanches, C. P., Barbosa, L. F. D. S. P., Costa, W. M., & Munhoz, A. K. (2018). Evolution of fixed-time AI in dairy cattle in Brazil. *Anim. Reprod.*, *15*(Suppl 1), 940–951. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0020>

Velázquez Penagos, H., Galindo Rodríguez, L., Barrientos Morales, M., Galina Hidalgo, C. S., Maquivar Linfoot, M. G., & Montiel Palacios, F. (2020). Effect of the Technological Status of Small Cow-Calf Farm Producers on the Induction to Resumption of Ovarian Activity of Dual-Purpose Cattle Raised under Topical Conditions. *Open Journal of Veterinary Medicine*, *10*(11), 195-205. <https://doi.org/10.4236/ojvm.2020.1011017>

