

Transferencia de embriones en el ganado bovino: Eficiencia reproductiva y evaluación económica en sistemas de producción en trópico seco

Embryo Transfer in beef cattle: Reproductive efficiency and economic assessment in productive systems under dry tropical conditions

Libia Ivonne Pérez-Torres^{1*}, Saul Briones-Olvera¹, María Lorena Torres-Rodríguez¹, Sandra Elizabeth Hernández-Méndez¹, Francisco Trejo-Meza², Jorge Loredó-Ostí¹

RESUMEN

La transferencia de embriones (TE) en sistemas de producción bovina ha mostrado limitaciones y desafíos para alcanzar su éxito, especialmente cuando se habla de lograr las gestaciones después de la TE, ya que esto impacta tanto indicadores reproductivos, productivos e incluso económicos. El objetivo del presente estudio fue determinar los factores asociados a los porcentajes de gestación entre hembras bovinas nulíparas y múltiparas sometidas a TE, así como la estimación económica de los servicios de TE en sistemas de producción de carne bajo condiciones de trópico seco. Se analizaron los registros de TE de 221 hembras, clasificadas en vacas nulíparas (n = 145) y vacas múltiparas (n = 76) cruzas *Bos taurus* y *Bos indicus*, mantenidas en un sistema extensivo. Los porcentajes de gestación entre múltiparas (33%) y nulíparas (30%) fueron iguales ($p > 0.05$), sin embargo, las nulíparas requirieron hasta tres servicios de TE para alcanzar los mismos porcentajes de gestación que las vacas múltiparas (OR = 2.31; IC 95% 1.28-4.16; $p = 0.005$). La valoración económica mostró una pérdida de hasta el 74% en gestaciones con un servicio y de 67% con tres servicios. La etapa del embrión transferido tuvo efecto en los porcentajes de gestación (OR = 1.92; IC 95%

ABSTRACT

Bovine embryo transfer (ET) has shown limitations and challenges in achieving success, especially when it comes to achieving pregnancy after ET, since this impacts reproductive, productive, and even economic indicators. The objective of this study was to determine the factors associated with pregnancy rates among nulliparous and multiparous bovine females as well as economic estimation of ET services in beef production systems under dry tropical conditions. We analyzed the ET records of 221 females, classified as nulliparous (n = 145) and multiparous cows (n = 76), crossbred *Bos taurus* and *Bos indicus*, maintained in an extensive system. The pregnancy rates between multiparous (33%) and nulliparous (30%) were no different ($p > 0.05$). However, nulliparous females needed up to three ET services to achieve the same pregnancy rate as multiparous females (OR = 2.31; 95% CI 1.28-4.16; $p = 0.005$). The economic assessment showed a loss of up to 74% in pregnancies treated with one service and 67% in pregnancies treated with three services. The stage of the transferred embryo had an effect on pregnancy rates (OR = 1.92; 95% CI 1.21-3.05; $p = 0.006$), whereas body condition, size, and position of the corpus luteum showed no effect ($p > 0.05$)

*Autor para correspondencia: liperez@uat.edu.mx

Fecha de aceptación: 13 de agosto de 2025

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

²Laboratorio FIV, Unión Ganadera Regional de Tamaulipas, Tamaulipas, México.

Fecha de recepción: 3 de julio de 2025

Fecha de publicación: 28 de agosto de 2025

1.21-3.05; $p = 0.006$) mientras que la condición corporal, tamaño y posición del cuerpo lúteo no mostraron efecto ($p > 0.05$) sobre los porcentajes de gestación. Las hembras nulíparas requirieron hasta tres servicios de TE para lograr los mismos porcentajes de gestación que la multíparas, la mayor pérdida económica se observó al realizar hasta tres servicios de TE, mientras que la etapa del embrión fue el único factor predictor a lograr la gestación de las hembras.

Palabras clave: Costos de transferencia de embriones, porcentajes de gestación, vacas multíparas, vacas nulíparas.

on pregnancy rates. Nulliparous females required up to three TE services to achieve the same pregnancy rates as multiparous females. Therefore, the greatest economic loss was observed when up to three TE services were performed, and the embryo stage was the only predictive factor influencing pregnancy in females.

Keywords: Embryo transfer cost, pregnancy rates, multiparous cows, nulliparous cows.

INTRODUCCIÓN

El uso y desarrollo de tecnologías reproductivas en el ganado han permitido mejorar la productividad y rentabilidad de los hatos bovinos. Esto gracias al uso de la sincronización de celos, la inseminación artificial hasta llegar a técnicas más complejas como la producción in vitro y transferencia de embriones (Rosete Fernández et al., 2021).

En los sistemas de producción de bovinos, la transferencia de embriones (TE) ha contribuido en gran medida a la mejora genética y a la obtención de becerros con alto valor genético y productivo, con características seleccionadas o deseadas que se reflejaran en el embrión. Por lo tanto, para lograr que los sistemas de producción de carne sean eficientes, es necesario que cada vaca tenga un parto una vez al año. Para esto, la transferencia de embriones debe ser exitosa tanto en el contexto de la mejora genética, como en la eficiencia reproductiva, es decir, lograr que la hembra quede gestante después de la transferencia embrionaria. Sin embargo, la transferencia de embriones presenta limitaciones tanto en su aplicación como en su éxito, el cual es determinado por los porcentajes de gestación obtenidos.

Diversos estudios han evaluado los factores que influyen y determinan el éxito de la TE. Encontrando que los relacionados a la misma técnica, al estado nutricional y de salud de las hembras, así como a la temperatura ambiental (Wolfenson & Roth, 2019). También se ha relacionado a características del cuerpo lúteo, tipo y etapa del embrión a transferir (Spell et al., 2001) y características de las hembras donantes y receptoras (Roper et al., 2018). Estos factores han demostrado influir directamente en los porcentajes de gestación obtenidos por TE, los cuales de manera general rondan en el 65%, aunque algunos estudios reportan tasas de entre el 30 a 35% (García et al., 2019).

La transferencia embrionaria también ha sido evaluada desde el punto de vista económico, ya que es una de las técnicas que requieren una mayor cantidad de insumos, mano de obra, preparación y manejo de los animales, lo que hace que la rentabilidad de su aplicación varíe dependiendo de los objetivos y características de los sistemas de producción en donde se utilice (Mebratu et al., 2020; Sánchez et al., 2015). Por lo anterior es necesario evaluar los factores asociados al éxito o fracaso de la transferencia de embriones, así como estimar los costos y pérdida económica de la TE en los sistemas de producción de carne bajo condiciones de trópico seco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron los registros de los servicios de transferencia de embriones realizados por el Centro de Desarrollo de Capacidad Productiva y Mejoramiento Genético de la ganadería Dr. Jorge R. Arnáez Gómez de la Unión Ganadera Regional de Tamaulipas (Centro-UGRT), ubicado en las coordenadas 23°44'06" N; 99°07'51" O, a 327 msnm. Este sitio presenta un clima BS1 (h') hw clasificado como semiseco con lluvias en verano y una precipitación media mensual de 62.25 mm, una temperatura máxima de 45 °C y una mínima de 20 °C durante el verano y humedad relativa del 70% (INEGI, 2017). Los datos corresponden a los periodos de primavera-verano del 2019.

Los datos analizados incluyeron a un total de 221 hembras bovinas de cruce (*Bos taurus* x *Bos indicus*), las cuales fueron clasificadas en dos 2 grupos: nulíparas (n = 145) vaquillas de entre 22 y 24 meses sin partos y múltíparas (n = 76), vacas de entre 48 y 60 meses de edad con al menos dos partos. Las hembras fueron mantenidas durante los servicios reproductivos de transferencia de embriones en un sistema de producción extensiva en potreros de zacate Bufell (*Cenchrus ciliaris* L.) de temporal.

Manejo reproductivo de las hembras

Para el estudio se evaluaron las hembras consideradas como receptoras de la transferencia de embriones, las cuales cumplían con los siguientes criterios: presentar cuerpo lúteo (en respuesta a la sincronización) al momento del ultrasonido en cualquiera de los ovarios, estar vacías y clínicamente sanas. El manejo reproductivo fue el mismo tanto para hembras nulíparas como para múltíparas, el cual consistió en la sincronización, transferencia embrionaria y diagnóstico de gestación.

Sincronización de hembras

Previo a la transferencia de embriones el protocolo de sincronización consistió en la aplicación al día cero de un dispositivo intravaginal de 1900 mg de progesterona (CIDR, Pfizer®) y una inyección intramuscular (IM) de 2 mg de benzoato de estradiol (BE) (Estrol Loeffler, México). Al día 8 se retiró el dispositivo intravaginal y se aplicó 1 mg de cipionato de estradiol (ECP, Zoetis México) + 366 UI de gonadotropina coriónica equina (eCG) + 400 UI de cloprostenol sódico (Ciclase DL®).

Transferencia de embriones

La transferencia embrionaria se realizó nueve días después del retiro del dispositivo intravaginal (día 17). Al momento de la transferencia se realizó un diagnóstico reproductivo y una evaluación clínica a las hembras sincronizadas, con el fin de considerarlas candidatas a la transferencia embrionaria. Para ello se utilizó un ultrasonido Mindray DP-10, equipado con un transductor lineal de 7.5 MHz, mediante el cual se realizó una ecografía transrectal. Este procedimiento permitió evaluar con precisión el estado reproductivo de las hembras, determinando que se encontraban vacías y ciclando. Se consideraron hembras receptoras aquellas que se encontraban sanas y ciclando, es decir, con presencia de cuerpo lúteo evidenciado mediante ultrasonografía.

Variables evaluadas durante la transferencia embrionaria

Las variables consideradas de las hojas de registro para el estudio fueron aquellas anotadas durante el procedimiento de la transferencia de embriones, las cuales fueron:

Condición corporal valorada en una escala de 1 a 9, donde 1 correspondió a vacas muy delgadas o emaciadas y 9 a vacas obesas (Wagner et al., 1988).

Calidad y ubicación de cuerpo lúteo (CL) clasificación de acuerdo con su tamaño en donde CL1 < 40 mm; CL2 entre 20 a 30 mm y CL3 < 20 mm (Rodríguez, 2017), así mismo se registró el sitio de presentación cuerpo lúteo: CLD en el ovario derecho y CLI en el ovario izquierdo.

Etapa de desarrollo del embrión al momento de la transferencia, para cada hembra se registró el tipo de embrión transferido, según su etapa de desarrollo: mórulas, blastocistos iniciales, blastocistos expandidos (Cutini et al., 2000).

Diagnóstico de gestación

Para evaluar la eficiencia de la transferencia embrionaria, se realizó el diagnóstico gestacional mediante ultrasonografía transrectal (Mindray DP-10, transductor lineal de 7.5 MHz) al día 35 post-transferencia, Se registró el estado de la hembra como gestante o vacía según el caso. Los datos de esta variable se analizaron como porcentajes de gestación totales y los porcentajes por grupo de hembras nulíparas o múltiparas.

Eficiencia de la transferencia de embriones

Para determinar la eficiencia en la transferencia de embriones se calcularon los porcentajes de preñez para cada grupo de vacas nulíparas y múltiparas y también de manera total. Se calculó en porcentaje (%) y se obtuvo dividiendo el número total de hembras gestantes entre el número total de hembras transferidas.

Estimación Análisis de datos económicos

Se consideraron los costos calculados para los servicios de transferencia de embriones ya reportados en México (Sánchez et al., 2015) como valores aproximados de acuerdo con el porcentaje de gestación obtenido por las transferencias y el costo actualizado al 2025 ReproLogix TM.

El costo reportado según Sánchez et al. (2015) por servicio de TE fue de 620 USD (dólares americanos) por hembra y consideraban:

Costo A: Costos por vaca donante que incluye manejo hormonal, material de recolección de embriones, semen, servicios médicos veterinarios o técnicos, mano de obra y costos de la alimentación). B: Costos para vaca receptora mismo que incluye el manejo hormonal, material para transferir embriones, alimentación, servicios técnicos o médicos veterinarios y mano de obra. Los costos actualizados estimados por vaca receptora al 2025 fueron de 800 USD por hembra por transferencia de acuerdo con ReproLogix TM.

Ambos costos por servicio se estimaron se estimaron del mismo modo tanto para hembra nulíparas y múltiparas. Se multiplicó el costo individual de la TE por hembra por el total de hembras gestantes y vacías por servicio, este último se utilizó para estimar la pérdida económica por servicio al considerar hembras transferidas pero que no quedaron gestantes. También se calculó de manera acumulativa, multiplicando el costo total de los servicios de TE requeridos por hembra para alcanzar la gestación.

Análisis estadístico.

Las variables registradas fueron capturadas y ordenadas en una hoja de cálculo de Excel. Las variables condición corporal (1 a 9) y calidad de cuerpo lúteo (CL1, CL2 y CL3), la ubicación del CL (izquierdo o derecho) y etapa del embrión (mórula, blastocisto inicial, blastocisto expandido) y

resultado de gestación fueron consideradas como variables nominales, estas últimas expresadas en porcentajes. El número de servicios por hembra se mantuvo como variable cuantitativa. Los costos económicos por TE se calcularon por servicio por vaca y se proyectaron de manera acumulativa.

Para el análisis estadístico, se utilizó el programa estadístico SAS 9.4, realizando pruebas de Chi² para comparar los porcentajes de gestación entre de las receptoras primíparas y multíparas. Para las variables calidad y posición del cuerpo lúteo, posición de cuerpo lúteo, etapa del embrión y condición corporal se utilizó un análisis de regresión logística múltiple considerando como variable dependiente la gestación (éxito o fracaso) y como variable independiente el número de servicios requeridos para lograr la gestación.

Los costos económicos asociados a la transferencia embrionaria se calcularon por servicio por vaca y se proyectaron de manera acumulativa para cada caso, tomando como base los valores estimados y actualizados que fueron calculados.

RESULTADOS

La eficiencia de la transferencia embrionaria se determinó mediante de los porcentajes de gestaciones obtenidos en ambos grupos de vacas. Se obtuvo un 33% (25/76) de éxito para las hembras multíparas y un 30% (43/145) para las hembras nulíparas lo que no representó diferencias significativas ($p > 0.05$). Esto representó un porcentaje general de éxito en la TE del 30% de gestaciones (68/221) como se muestra en la Tabla 1.

■ Tabla 1. Porcentajes de gestación de hembras multíparas y nulíparas en cada servicio de transferencia de embriones

		Total hembras gestantes	Servicios de TE			Total hembras vacías
			1	2	3	
Multíparas	n = 76	33% (25/76)	100% (25/25)	0	0	67% (51/76)
Nulíparas	n = 145	30% (43/145)	39% (17/43)	56% (24/43)	4.5% (2/43)	70% (102/145)

Sin embargo, a pesar de no mostrar diferencias significativas en los porcentajes de gestación, para alcanzar estos porcentajes similares de gestación las hembras nulíparas necesitaron hasta tres servicios de transferencia de embriones mientras que las multíparas solo un servicio de transferencia siendo estadísticamente significativo (OR = 2.31; IC95 % 1.28-4.16; $p < 0.005$). Por lo tanto, de 68 vacas gestantes entre nulíparas y multíparas, el 26% (42 hembras) logró gestación con un solo servicio, el 44.5% (24 hembras) con dos servicios y el 33.5% (hembras) con tres servicios (Tabla 2).

Los costos estimados por hembra fueron de 620 a 800 USD por un servicio de TE estadounidenses considerando porcentajes de fertilidad del 30% y el valor actual al 2025 respectivamente. Para dos y tres servicios de TE fueron de 1,240 a 1,600 USD y de 1,860 a 2,400 USD respectivamente. Esto representa una pérdida económica estimada del 74% al primer servicio, de 56% con dos servicios y de 67% con tres servicios, ya que conforme los costos por hembras aumentan el número de hembras a servicio disminuyen.

■ Tabla 2. Variables reproductivas asociadas a los porcentajes de gestación.

Variable	Gestante		Vacía		Valor de <i>p</i>
	n	%	n	%	
Nº de servicios					0.0401
Uno	42	26.1	119	73.9	
Dos	24	44.4	30	55.6	
Tres	2	33.3	4	66.7	
Etapas del embrión 1^{er} servicio (n = 221)					0.0861
Mórula	6	18.8	26	81.3	
Blastocito inicial	13	24.5	40	75.5	
Blastocito expandido	49	36.0	87	64.0	
Etapas del embrión 2^o servicio (n = 60)					0.3771
Blastocito inicial	8	57.1	6	42.9	
Blastocito expandido	18	39.1	28	60.9	
Etapas del embrión 3^{er} servicio (n = 6)					1.0002
Blastocito inicial	0	0.0	1	100.0	
Blastocito expandido	2	40.0	3	60.0	

Pruebas estadísticas utilizadas: 1= Chi cuadrada, 2 = Exacta de Fisher.

El costo total por lote se estimó en 26,040 a 33,600 USD con un servicio de TE, de 29,760 a 38,400 USD con dos servicios de TE, y de 3,720 a 4,800 USD con tres servicios de TE (Tabla 4).

La etapa de desarrollo del embrión al momento de la transferencia mostró un efecto significativo al observar mayores porcentajes de gestación cuando la TE se realizó con embriones en la etapa de blastocito expandido independiente del número de servicio realizado (OR = 1.92; IC 95% 1.21-3.05; *p* = 0.006; Tabla 2).

En lo que respecta a las variables como posición, calidad de cuerpo lúteo, así como la condición corporal no mostraron efecto significativo sobre los porcentajes de gestación (*p* > 0.05; Tabla 3).

■ Tabla 3. Variables reproductivas sin efecto en los porcentajes de gestación.

Variable	Gestante		Vacía		Valor de <i>p</i>
	n	%	n	%	
Calidad de cuerpo lúteo					0.1501
Regular	13	22.4	45	77.6	
Bueno	55	33.7	108	66.3	
Posición cuerpo lúteo					0.7661
Derecho	47	31.8	101	68.2	
Izquierdo	21	28.8	52	71.2	
	Media	D.E	Media	D.E.	
Condición corporal	8	57.1	6	42.9	

Pruebas estadísticas utilizadas: 1=Chi cuadrada, 3=t de Student

■ Tabla 4. Estimación de costos (\$USD) y pérdida económica (%) según el número de servicios de Transferencia de embriones (TE) por hembra bovina.

		Costos (USD)				
		Costo por TE al 30% de fertilidad*	Costo con valor actualizado			
# de servicios de TE	# Vacas (gestantes / servidas)	Hembras gestante x servicio TE	Costo total	Hembras gestante x servicio TE	Costo total	Pérdida económica %
1	42/161	620	26,040	800	33600.00	74
2	24/54	1,240	29,760	1,600	38400.00	56
3	2/6	1,860	3,720	2,400	4800.00	67

Los costos por TE al 30% de fertilidad fueron considerados a lo reportado por (Sánchez et al., 2015);

DISCUSIÓN

Los porcentajes de gestación obtenidos en el presente trabajo fueron similares entre hembras nulíparas (30%) y hembras múltiparas (33%). Estos resultados concuerdan con lo reportado por García et al. (2019) quienes no encontraron diferencias significativas en los porcentajes de gestación entre nulíparas (62%) y múltiparas (85%). Sin embargo, otros autores mencionan que la edad de la vaca es un factor determinante del éxito de las gestaciones por transferencia de embriones, observando mejores resultados en vacas múltiparas (Zavaleta-Martínez et al., 2024).

Sin embargo los resultados globales de los porcentajes de la TE fueron del 30%, porcentajes menores a lo reportado en estudios en donde observaron hasta un 80% de gestaciones. Esta diferencia puede deberse a que esos estudios previos se realizaron en sitios con condiciones climáticas de trópico húmedo (García et al., 2019; Pérez-Mora et al., 2020) mientras que los nuestros se obtuvieron en condiciones de trópico seco, en donde las altas temperaturas y la humedad relativa pueden influir de manera negativa en la eficiencia reproductiva, ya que diversos autores han reportado que la temperatura es uno de los factores principales que afectan el éxito de las tecnologías reproductivas (Fernández-Novo et al., 2020). Sin embargo, estas variables climatológicas no fueron medidas en el presente trabajo.

En el presente estudio para obtener el 33% de gestación en hembras múltiparas solo fue necesario un servicio de TE, mientras que para alcanzar el 30% de gestación de las nulíparas se necesitaron hasta tres servicios de TE. Estudios anteriores ha descrito que un el número de servicios por concepción es de 1.5 servicios por concepción (Lammoglia-Villagómez et al., 2023), por lo que utilizar más de 2 servicios para alcanzar la gestación podría resultar poco rentable y menos productivo. Lo anterior se debe a que la estimación de costos acumulativos muestra que el costo por un servicio de TE por hembra fue de 620 a 800 USD, con dos servicios el costo se duplicó (1,240 a 1,600 USD), mientras que al tercer servicio se elevó de 1,860 a 2,400 USD por hembra. Esto representó una pérdida económica estimada al primer servicio de 74%, al segundo servicio de 56% y al tercer servicio de 67% de los costos totales de los servicios de transferencia de embriones considerando la proporción de hembras gestantes en cada caso.

Este análisis pone en evidencia la necesidad de evaluar cuidadosamente la rentabilidad de realizar múltiples servicios de TE en un mismo ciclo, ya que los costos de oportunidad pueden ser

significativos. Esto puede representar un pro y contra del número de servicios de TE ya que la consideración de no gestar una hembra y esperar un siguiente empadre también representa gastos y pérdidas ya que por otro lado una vaca que no pario en un año representa una pérdida de 359 USD (Torres-Aburto et al., 2020). Esto debe proyectarse al total de animales no gestantes en ese empadre o ciclo. Por lo tanto, en ambos casos los costos de mantenimiento (alimentación, sanidad, manejo y administración) se deberán de considerar de manera integral.

En lo que respecta a los factores reproductivos que determinaron los porcentajes de gestación, la etapa de desarrollo del embrión al momento de la TE, determinó la gestación ya que se observó un mejor resultado en vacas transferidas con blastocisto expandidos. Esto concuerda con estudios previamente reportados por diversos autores (Erdem et al., 2020; Ferraz et al., 2016; Pérez-Mora et al., 2020). Lo anterior respalda la conclusión de Gonella-Díaz et al. (2013) y Siqueira et al. (2009) quienes señalaron que la etapa del embrión transferido es un factor clave y predictor del éxito de la transferencia de embriones.

La condición corporal no mostró efecto en los porcentajes de gestación. Esto puede deberse a que en promedio las hembras mostraron una CC de 4, misma que es considerada óptima para lograr gestaciones exitosas mediante transferencia de embriones (Lonney et al., 2006).

Finalmente, los factores como calidad y posición del cuerpo lúteo al momento de la transferencia no mostraron efecto en los resultados de porcentajes de gestación lo que concuerda con trabajos reportados previamente, en donde estos factores considerados como factores intrínsecos al momento de la TE no afectaron los porcentajes de gestación (Siqueira et al., 2009; Zavaleta-Martínez et al., 2024). No obstante, otros estudios difieren con nuestros resultados ya que mencionan una asociación entre los porcentajes de preñez y el diámetro del cuerpo lúteo mostrando una tasa de preñez del 39.7% en hembras con CL > 20 mm mientras que hembras con CL de 14 mm fue de 24.2% (Gonella-Díaz et al., 2013). Aunque en este estudio no se observó este efecto, el cuerpo lúteo al momento de la transferencia sigue siendo un criterio fundamental para la selección de hembras receptoras debido a su importancia hormonal, ya que Spell et al. (2001) mostraron una correlación directa entre el diámetro del CL y la concentración plasmática de progesterona, hormona esencial para el mantenimiento de la gestación.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio mostraron que las hembras nulíparas requirieron hasta tres servicios de TE para alcanzar porcentajes de gestación similares a los obtenidos en hembras múltiparas, las cuales lograron la gestación con un solo servicio. Un mayor número de servicios en nulíparas implicó una mayor pérdida económica especialmente cuando se realizan hasta tres servicios de TE.

La etapa de desarrollo del embrión al momento de la transferencia resultó ser un factor predictor significativo del éxito de las gestaciones. Por lo tanto, se recomienda i) limitar la transferencia hasta un máximo de dos servicios de TE por hembra en un mismo ciclo reproductivo para optimizar la rentabilidad del sistema; ii) seleccionar embriones con mayor grado de desarrollo, preferentemente blastocistos expandidos, en la transferencia embrionaria para aumentar las probabilidades de gestaciones exitosas. Estas consideraciones son clave para mejorar la eficiencia reproductiva y económica de los programas de transferencia embrionaria en condiciones de trópico seco.

REFERENCIAS

- Erdem, H., Karasahin, T., Alkan, H., Dursun, S., Satilmis, F., & Guler, M. (2020). Effect of embryo quality and developmental stages on pregnancy rate during fresh embryo transfer in beef heifers. *Tropical Animal Health and Production*, 52(5), 2541-2547. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02287-6>
- Fernández-Novo, A., Pérez-Garnelo, S. S., Villagrà, A., Pérez-Villalobos, N., & Astiz, S. (2020). The effect of stress on reproduction and reproductive technologies in beef cattle-A review. *Animals*, 10(11), 2096. <https://doi.org/10.3390/ani10112096>
- Ferraz, P. A., Burnley, C., Karanja, J., Viera-Neto, A., Santos, J. E. P., Chebel, R. C., & Galvão, K. N. (2016). Factors affecting the success of a large embryo transfer program in Holstein cattle in a commercial herd in the southeast region of the United States. *Theriogenology*, 86(7), 1834-1841. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.05.032>
- García, E. C., Mendoza Medel, G., Pineda Burgos, B., Romero, P., Hernández Ruiz, P. E., Vicente Pérez, R., Valencia Franco, E., & Ponce, J. L. (2019). Parity does not affect the reproductive response of Suizo Americano cows submitted to embryo transference in tropical areas of Guerrero. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(2). <https://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/887>
- Gonella-Díaz, A. M., Holguín, G., Montaña, D., & Valbuena, D. (2013). Corpus luteum diameter and embryo developmental stage are associated with pregnancy rate: data analysis from 17,521 embryo transfers from a commercial *in vitro* bovine embryo production program. *Animal Reproduction*, 10(2), 106-111.
- Hansen, P. J. (2020). The incompletely fulfilled promise of embryo transfer in cattle-Why aren't pregnancy rates greater and what can we do about it? *Journal of Animal Science*, 98(11), skaa305. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa288>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Anuario estadístico y geográfico de Tamaulipas 2017. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825094928>
- Lammoglia-Villagómez, M. Á., Martínez-De la Cruz, C., Sánchez-Montes, D. S., Avalos-Rosario, I. I., & Chagoya-Fuentes, J. L. (2023). Desempeño reproductivo de hembras bovinas utilizadas únicamente como receptoras en un programa de transferencia de embriones en el trópico cálido-subhúmedo. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 11(2), 59-68. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v11i2.489>
- Looney, C. R., Nelson, J. S., Schneider, H. J., & Forrest, D. W. (2006). Improving fertility in beef cow recipients. *Theriogenology*, 65(1), 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.09.023>
- Mebratu, B., Fesseha, H., & Goa, E. (2020). Embryo transfer in cattle production and its principle and applications. *International Journal of Pharmacy & Biomedical Research*, 7(1), 40-54.
- Pérez-Mora, A., Segura-Correa, J. C., & Peralta-Torres, J. A. (2020). Factors associated with pregnancy rate in fixed-time embryo transfer in cattle under humid-tropical conditions of México. *Animal Reproduction*, 17(2), e20200007. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2020-0007>
- Roper, D. A., Schrick, F. N., Edwards, J. L., Hopkins, F. M., Prado, T. M., Wilkerson, J. B., & Smith, W. B. (2018). Factors in cattle affecting embryo transfer pregnancies in recipient animals. *Animal Reproduction Science*, 199, 79-83. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.10.012>
- Rosete Fernández, J. V., Álvarez Gallardo, H., Urbán Duarte, D., Fragozo Islas, A., Asprón Pelayo, M. A., Ríos Utrera, Á., Pérez Reynozo, S., & de la Torre Sánchez, J. F. D. L. (2021). Biotecnologías reproductivas en el ganado bovino: cinco décadas de investigación en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(1), 39-78. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5918>

- Sánchez, Z., Lammoglia, M. A., Alarcón, M. A., Romero, J. J., & Galina, C. S. (2015). Is the production of embryos in small-scale farming an economically feasible enterprise? *Reproduction in Domestic Animals*, 50(4), 574-579. <https://doi.org/10.1111/rda.12526>
- Siqueira, L. G., Torres, C. A., Souza, E. D., Monteiro, P. L., Jr, Arashiro, E. K., Camargo, L. S., Fernandes, C. A., & Viana, J. H. (2009). Pregnancy rates and corpus luteum-related factors affecting pregnancy establishment in bovine recipients synchronized for fixed-time embryo transfer. *Theriogenology*, 72(7), 949-958. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.06.013>
- Spell, A. R., Beal, W. E., Corah, L. R., & Lamb, G. C. (2001). Evaluating recipient and embryo factors that affect pregnancy rates of embryo transfer in beef cattle. *Theriogenology*, 56(2), 287-297. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(01\)00563-5](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(01)00563-5)
- Torres-Aburto, V. F., Domínguez-Mancera, B., Vázquez-Luna, D., & Ortiz, V. E. E. (2020). Costo del intervalo interparto en la producción bovina tropical del sureste de México. *Agro Productividad*, 13(7), 45-51. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1651>
- Wolfenson, D., & Roth, Z. (2019). Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. *Animal Frontiers*, 9(1), 32-38. <https://doi.org/10.1093/af/vfy027>
- Zavaleta-Martínez, A., Barrientos-Morales, M., Medina, V. A., Rodríguez-Andrade, A., Cervantes-Acosta, P., Hernández-Beltrán, A., Avendaño-Reyes, L., & Domínguez-Mancera, B. (2024). Evaluation of intrinsic and extrinsic factors affecting pregnancy rate in dual-purpose cows under tropical conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 56(4), 163. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04016-9>