

Investigaciones relevantes en el área de reproducción de bovinos carne y doble propósito, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Relevant research in the area of beef and dual-purpose cattle reproduction, from the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Juan Prisciliano Zárate-Martínez¹, Eliab Estrada-Cortés², Horacio Álvarez-Gallardo³, David Úrban-Duarte³,
Sandra Pérez Reynoso³

¹ Campo Experimental La Posta, CIR Golfo centro INIFAP.

² Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, CIR Pacífico Centro, INIFAP.

³ Centro Nacional de Recursos Genéticos, CIR Pacífico Centro, INIFAP.

*zarate.juan@inifap.gob.mx

Resumen

El uso de métodos de reproducción avanzados, como la inseminación artificial a Tiempo Fijo (IATF), la transferencia de embriones (TE) y la fertilización in vitro (FIV), desempeña un papel crucial para mejorar la eficiencia y calidad genética del ganado destinado a la producción de carne y leche. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) trabaja en la mejora genética del ganado bovino, con un enfoque en razas adaptadas a las condiciones locales, como el cebú y sus cruces. La investigación en la sincronización de estros y la inducción de la ovulación en ganado bovino en clima tropical ha revolucionado el manejo reproductivo con resultados que van desde un 100% de hembras que presentan estro y de hasta 75% de tasa de concepción. Se han identificaron regiones genómicas relacionadas con la calidad del semen post-descongelado en toros cruzados de doble propósito, relacionados con características productivas en forma directa con las características seminales y se identificó el marcador SNP BTB-01354898, situado en una región genómica en la que no hay genes registrados. En lo que respecta a la producción de embriones in vitro se evaluó el efecto de la adición de una proteína de choque térmico (HSP70) sobre el desarrollo de embriones bovinos producidos in vitro, encontrándose que la adición de HSP70 a los medios de cultivo tiene efectos favorables sobre el porcentaje de blastocistos y su número de células. Es necesario que en México se continúe haciendo investigación básica y aplicada en estas técnicas para mejorar la eficiencia y la efectividad en la reproducción animal.

Palabras clave: Inducción, ovulación, semen, MOET, FIV.

Introducción

En México, la producción de carne bovina es una actividad estratégica para el desarrollo económico y social, especialmente en zonas rurales. El uso de métodos de reproducción avanzados, como la inseminación artificial a Tiempo Fijo (IATF), la transferencia de embriones (TE) y la fertilización in vitro (FIV), desempeña un papel crucial para mejorar la eficiencia y calidad genética del ganado destinado a la producción de carne. En el ámbito de la investigación, México ha avanzado significativamente en el desarrollo y adaptación de estas tecnologías. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) trabaja en la mejora genética del ganado bovino, con un enfoque en razas adaptadas a las condiciones locales, como el cebú y sus cruces. En este aspecto el Campo Experimental La Posta en la región Golfo Centro ha contribuido sustancialmente desarrollando programas de IA con toros cruzados con lo cual se ha modificado en las regiones tropicales la frecuencia de genes de estas poblaciones. Por lo anteriormente expuesto, este documento tiene el objetivo de divulgar los resultados obtenidos por el INIFAP en el área de tecnologías reproductivas.

Principales aportaciones de investigación en tecnologías reproductivas del INIFAP

En el área en que mas esfuerzos se han hecho en bovinos carne y doble propósito, es en la sincronización estral e inducción de la ovulación por medio de tratamientos hormonales, empadres cortos, manejo del amamantamiento y la interacción con la nutrición, con resultados que van desde un 100% de hembras que presentan estro y del 20 al 75 % de tasa de concepción (Tabla 1) con IATF (Zárate *et al.*, 2022). Sin embargo, los resultados preliminares indican que el uso de semen sexado constituye un factor de riesgo que puede reducir la respuesta reproductiva cuando se usa IATF en ganado cruzado bajo condiciones tropicales

Tabla 1. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar para número de servicios por concepción (NSC), tasa de gestación a primer servicio (TG1), días abiertos (DA) e intervalo entre partos (IEP).

Tratamiento	NSC	TG1	DA	IEP
1	1.4 ± 0.4a	75.2 ± 16.4a	105.4 ± 26.5a	392.6 ± 27.2a
2	1.6 ± 0.5a	42.8 ± 21.1b	117.8 ± 28.3a	382.6 ± 31.8a

a,b Medias con distinta literal dentro de columna son diferentes ($p < 0.05$).
Fuente: Elaboración propia

El que se hayan realizado tantos esfuerzos hasta la fecha en esta área tiene una consecuencia lógica ya que la constatación del funcionamiento de estos protocolos en animales especializados en la producción de carne en condiciones tropicales y subtropicales es obligada para mejorar la eficiencia reproductiva de estos hatos ganaderos, así como para la investigación de su respuesta fisiológica. Una de las tecnologías en esta área que cabe hacer mención y que realizó el INIFAP fue el uso de la kissseptina, con lo que se comprobó que en vacas para producción de carne (europeo x cebú), con 78 días posparto, anéstricas y amamantando a su cría se obtuvieron tasas de ovulación de 89.2, 96.5 y 93.8%, mientras que la de concepción fue 43.6, 73.8 y 54.3%, respectivamente (Santos *et al.*, 2014). En lo que se refiere al procesamiento de semen para la IA, se realizó un trabajo, donde se evaluó la adición del FAA recombinante (antígeno asociado a la fertilidad, por sus siglas en inglés) y TIMP-2 recombinante (inhibidor tisular de metaloproteinasas 2, por sus siglas en inglés) al semen congelado de bovino, con lo que se logró incrementar significativamente su fertilidad (Alvarez *et al.*, 2014). Recientemente se han logrado identificar las regiones genómicas relacionadas con la calidad del semen post-descongelado en toros cruzados de doble propósito (Figura 1).



Figura 1. Toros cruzados 5/8 Suizo Pardo, Holstein y Simmental x Cebú.
Fuente: Elaboración propia

Esto se realizó al someter el semen a un análisis riguroso después de la congelación-descongelación por medio de evaluación de semen asistida por computadora (o mejor conocido como sistemas CASA), asociando la variabilidad genética aditiva de los genes con características seminales estudiadas (Figura 2).

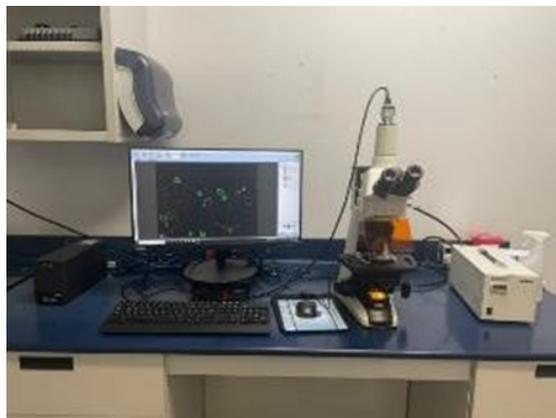


Figura 2. Equipo CASA (Computer Assisted Sperm Analysis).
 Fuente: Elaboración propia

Se identificaron ocho SNP asociados a la motilidad total y motilidad progresiva, los cuales están relacionados con características productivas en forma directa con las características seminales, tal como son la espermatogénesis, la propia fertilidad del semental, entre otras. Se identificó un marcador, el SNP BTB-01354898 que está situado en una región genómica en la que no hay genes registrados. En el Cuadro 2 se presenta el listado de los SNP asociados a motilidad total y motilidad progresiva. Ocho SNP al valor de p umbral de al menos 1×10^{-6} estuvieron asociados con la motilidad total y motilidad progresiva.

El SNP más importante encontrado fue el ARS-BFGL-NGS-116417 (valor de p -ajustado = 1.34×10^{-12}), que localiza en el cromosoma 5, y tiene funciones clave en la espermatogénesis. El SNP BTB-01354898, localizado en el cromosoma 29 mostró una asociación con MT y MP.

Tabla 2. Lista de SNP identificados asociados motilidad total y motilidad progresiva

BTA1	Significant SNP	P-value	MAF3
1	BTB-00069838	7.00E-10	0.06
6	BTA-94560-no-rs	2.45E-09	0.28
7	ARS-BFGL-NGS-11368	1.50E-08	0.13
7	BTA-79723-no-rs	2.30E-06	0.23
9	BovineHD0900017655	3.34E-10	0.14
12	BTB-01886351	3.50E-10	0.34
5	ARS-BFGL-NGS-116417	1.34E-12	0.13
29	BTB-01354898	4.25E-07	0.09

MAF=Frecuencia del alelo menor

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, existe informaron de la presencia de un locus de rasgo cuantitativo (QTL) en esta región que está significativamente asociado con la circunferencia escrotal, la cual está asociada a su vez con la fertilidad de las hijas de los toros (Úrban, *et al.*, 2024). Los trabajos de investigación aplicada en Multiovulación y transferencia de embriones (MOET), realizados por investigadores del INIFAP tanto en ganado cebú como en sus cruizas con europeo, se ha determinado al respecto, que en la estimulación ovárica para inducir multiovulación, existió una alta variabilidad en la respuesta superovulatoria, a pesar de esfuerzos por controlar las fuentes de variación, lo que es uno de los principales problemas que afectan la eficiencia y rentabilidad de la MOET a nivel comercial en las condiciones de bovinos carne y doble propósito, por lo que aún quedan aspectos por entender para generar protocolos más eficientes de estimulación ovárica (De La Torre *et al.*, 1992). En lo que respecta a la producción de embriones *in vitro*, es necesario realizar mas esfuerzos en hacer investigación tanto básica como aplicada en esta área ya que a nivel mundial, en tanto el número de embriones colectados in vivo y transferidos se ha mantenido estable en los últimos años, el número de embriones FIV transferidos ha tenido un promedio anual de crecimiento del 12% (de La Torre *et al.*, 2006). En un trabajo colaborativo entre el INIFAP y la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), se evaluó el efecto de la adición de una proteína de choque térmico (HSP70) sobre el desarrollo de embriones bovinos producidos *in vitro*, encontrándose que la adición de HSP70 a los medios de cultivo tiene efectos favorables sobre el porcentaje de blastocistos y número de células. En la Figura 3 se presentan los resultados obtenidos de esta adición de proteína de choque térmico, donde los ovocitos en cultivo fueron sometidos a estrés calórico de 41°C, observando que el medio de cultivo adicionado con la proteína HSP70 permitió obtener un mayor porcentaje de blastocistos con un mayor número de células (Zárate *et al.*, 2023).



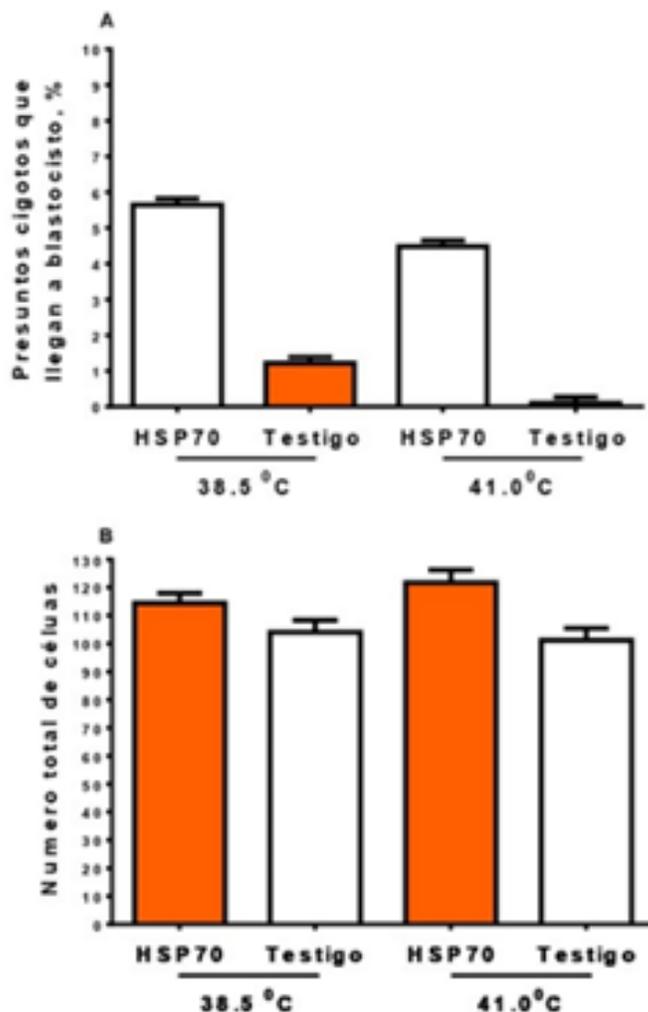


Figura 3. La adición de la proteína HSP70 al medio de cultivo (HSP70) aumentó el porcentaje de presuntos cigotos que formaron embriones en estado de blastocisto (Figura 1A) y el número total de células por blastocisto (Figura 1B), respecto a los grupos de embriones en medio de cultivo sin suplementar (Testigo).

Fuente: Elaboración propia

Impactos

El impacto de estas investigaciones no solo fortalece la competitividad del sector, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental. Al mejorar la eficiencia reproductiva, se reduce la emisión de gases de efecto invernadero y se optimiza el uso de los pastizales. Por ello, los métodos de reproducción representan una herramienta esencial para garantizar la seguridad alimentaria y el desarrollo sustentable del sector bovinos carne en México. Un claro ejemplo del impacto de las tecnologías reproductivas son los resultados obtenidos con los cruzamientos a través de la IA. Los resultados mostraron que la utilización de vacas F1: Angus, Hereford o Suizo Pardo x Cebú: 1) aumentó en 21 unidades el porcentaje de destete; 2) se incrementó en 7% el peso al destete de los becerros; 3) disminuyó en 3% el periodo que comprende del inicio del empadre al parto; 4) aumentó tres años la vida productiva de las vacas; 5) disminuyó la edad al primer parto de las vaquillas cruzadas en 30% con respecto a las Brahman y 6) incrementó en 40% la ganancia diaria de peso del destete al año de edad y en 16% el peso al año de edad de las crías. Con el uso de vacas cruzadas se aumentó el destete en 25% y el peso al destete en 30 kg. Actualmente, más de 20 mil productores del trópico húmedo y seco de nuestro país utilizan vacas cruzadas para producir becerros para engorda.



Perspectivas

Las biotecnologías reproductivas permiten la selección genética de animales con características deseables, lo que puede mejorar la calidad de la producción, pueden ayudar a conservar la biodiversidad en las poblaciones de bovinos, lo que es importante para mantener la salud y la resistencia de los animales y reducir el estrés ambiental, lo que puede mejorar su bienestar y productividad.

Retos

La innovación de la ganadería con razas cárnicas y doble propósito enfrenta grandes retos ya que las biotecnologías reproductivas pueden ser costosas y no accesibles para todos los productores de ganado. La eficiencia y efectividad de las biotecnologías reproductivas pueden variar dependiendo de la raza, la edad de los animales y las condiciones de manejo y ambientales en las que se encuentren. Uno de los principales retos desde el nacimiento de estas tecnologías, es su regulación y ética pues pueden ser complejas y variar dependiendo del país y la región. No menos importantes, son los retos en la capacitación y educación de los productores de ganado y los profesionales de la salud animal que son fundamentales para el uso adecuado y seguro de las biotecnologías reproductivas y la regulación de políticas gubernamentales ya que pueden influir en la adopción y el uso de las biotecnologías reproductivas en la producción de ganado. Los mayores retos en investigación son, el desarrollo de técnicas de reproducción asistida como: 1) fertilización *in vitro* (FIV) 2) la transferencia de embriones, para mejorar la eficiencia reproductiva, 3) reducir la mortalidad embrionaria y 4) la clonación y la edición genética, ya que esta puede ayudar a mejorar la eficiencia reproductiva y la calidad de los productos lácteos y cárnicos.

Conclusiones

La sincronización estral e inducción de la ovulación en ganado bovino en clima tropical, revolucionó el manejo reproductivo, pues permitió concentrar los estros entre 52 y 56 h después del retiro del CIDR en una época de empadre con IATF, de tal manera que facilitó el uso de la IA, con la posibilidad de volver a inseminar a estro manifiesto a las hembras que no concibieron al primer servicio, aumentando el número de vacas gestantes con IA. La aplicación de biotecnologías reproductivas en la inseminación artificial y la producción de embriones *in vivo* e *in vitro* en México es un tema relevante. Los protocolos de superovulación han evolucionado para mejorar la eficiencia y la efectividad, como la sincronización de la emergencia de la onda folicular y el uso de hormonas como la FSH. Está claro que las biotecnologías reproductivas han revolucionado la inseminación artificial y la producción de embriones *in vivo* e *in vitro* en todo el mundo. Es necesario que en México se continúe haciendo investigación básica y aplicada en estas técnicas para mejorar la eficiencia y la efectividad en la reproducción animal.

Referencias

Álvarez-Gallardo, H., Úrban-Duarte, D., Pérez-Reynoso, S., & De La Torre-Sánchez, J. F. (2014). Validación del ensayo de evaluación de semen bovino mediante un sistema "CASA" (Computer Assisted Sperm Analyzer). *VII Congreso Virtual Iberoamericano sobre la Gestión de Calidad en Laboratorios IBEROLAB*. Madrid, España, 259-260.

https://scholar.google.com.mx/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=VII+Congreso+Virtual+Iberoamericano+sobre+la+Gesti%C3%B3n+de+Calidad+en+Laboratorios+IBEROLAB.+Madrid%2C+Espa%C3%B1a.+2014%3A+259-260.&btnG

De La Torre-Sánchez, J. F., Gardner, D., Preis, K., Gibbons, J., & Seidel, G. E. (2006). Metabolic regulation of *in-vitro*-produced bovine embryos. II. Effects of phenazine ethosulfate, sodium azide and 2,4-dinitrophenol during post-compaction development on glucose metabolism and lipid accumulation. *Reprod Fert Develop*, 8, 597-607. <https://www.publish.csiro.au/rd/RD05064>

De La Torre-Sánchez, J. F., Castro-Luque, M. A., González-Padilla, E., & Reynoso-Campos, O. (1992). Respuesta de vacas cebú a superovulaciones sucesivas con FSH. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 30(3), 223-231. <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/64735a272c1d629bc97b8c7c>



- Muro-Reyes, A., Estrada-Cortés, E., Girón-Ruiz, Y., Vázquez-González, A., Bustamante-Guerrero, J. J., Zamora-Gutiérrez, D. & Villagrán-de la Mora, Z. (2023). XLVIII Reunión Científica de la Asociación Mexicana de Producción Animal y Seguridad Alimentaria A. C. https://scholar.google.com.mx/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=XLVIII+Reuni%C3%B3n+Cient%C3%ADfica+de+la+Asociaci%C3%B3n+Mexicana+de+Producci%C3%B3n+Animal+y+Seguridad+Alimentaria+AC.+2023.&btnG
- Santos-Echeverría, R., Calderón-Robles, R. C., Vera-Ávila, H. R., Perea-Marín, M. G., Arreguín-Arevalo, J. A., Nett, T. M., Gutiérrez-Aguilar, C. G. & Villa-Godoy, A. (2014). Hormona luteinizante y actividad ovárica en respuesta a kisspeptina-10 y su asociación con IGF-1 y leptina en becerras prepúberes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(2), 181-200. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242014000200005&script=sci_arttext
- Urbán-Duarte, D., Vega-Murillo, V. E., Zárate-Martínez, J. P., Álvarez-Gallardo, H., & Estrada-Cortés, E. (2024). Estudio de asociación genómica para características seminales postdescongelación en toros cruzados de doble propósito. *Memoria del VI Congreso Internacional Abanico Veterinario, Agroforestal, Ambiental, Pesquero, Acuícola y del Mar*, 128-133. https://scholar.google.com.mx/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Memoria+del+VI+Congreso+Internacional+Abanico+Veterinario%2C+Agroforestal%2C+Ambiental%2C+Pesquero%2C+Acu%C3%ADcola+y+del+Mar%2C+2024%3A+128-133.+&btnG
- Zárate-Martínez, J. P., de la Torre-Sánchez, J. F., Cortes-Estrada, E., Reynoso, S., Ramírez-Padilla, J. & Vega-Murillo, V. E. (2023). Proteína de choque térmico HSC70 en el cultivo de embriones bovinos sometidos a estrés calórico. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6(1), 433-440. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/57796>
- Zárate-Martínez, J. P., Juárez-Lagunes, F. I., Ríos-Utrera, Á., Montero-Lagunes, M. & Fragoso-Islas, A. (2022). Consumo de FDN y su efecto sobre la respuesta a la IATF en vacas del trópico de México. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1), 4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8286150>

