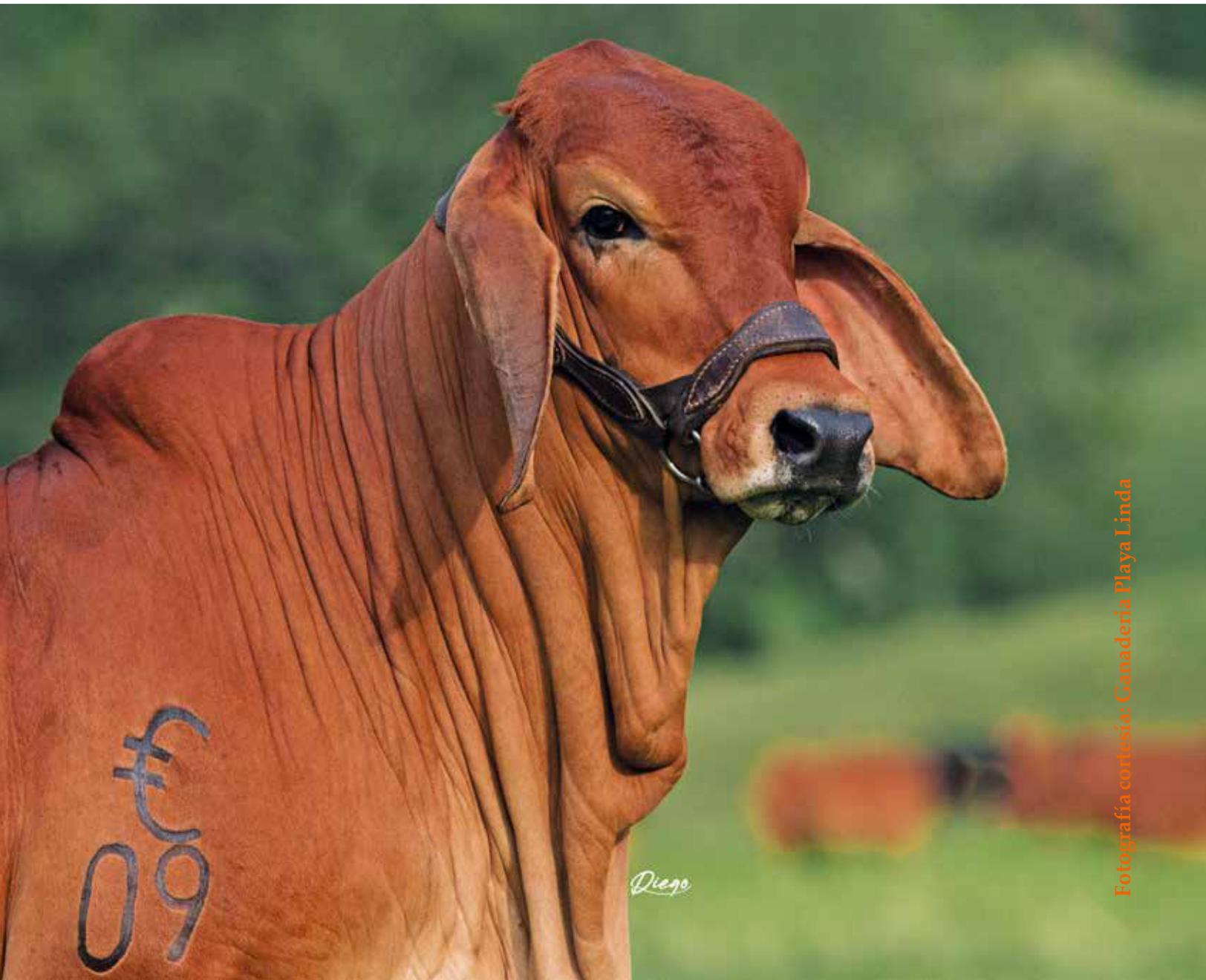


# Impacto de la *edad* de la *donante de ovocitos* en la producción de *embriones in vitro* y de la *receptora* sobre la *preñez* y el *desempeño* posterior de la *descendencia*



Pietro S. Baruselli<sup>AE</sup>, Carlos A. Rodrigues<sup>B</sup>, Roberta M. Ferreira<sup>A</sup>, José Nelio S. Sales<sup>C</sup>, Flávia M. Elliff<sup>A</sup>; Laísa G. Silva<sup>A</sup>; Mariana P. Viziack<sup>A</sup>, Luana Factor<sup>A</sup>, Michael J. D'Occhio<sup>D</sup>

Departamento de Reproducción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Ciencia Animal, Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, 05508-270, Sao Paulo, Brasil B Clínica Veterinaria SAMVET, São Carlos, SP, Brasil C Universidad Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 36010-041, Brasil D Escuela de Ciencias de la Vida y el Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad de Sydney, Sydney, Nueva Gales del Sur 2006, Australia. E Autor para correspondencia. Correo electrónico: barusell@usp.br

**Ponencia presentada durante el 14 Simposio Internacional de Reproducción Animal.**

**Instituto Reproducción Animal Córdoba  
IRAC- Argentina 2022**

Las tecnologías de reproducción asistida pueden tener un efecto profundo sobre la mejora de la productividad en el ganado vacuno y lechero. La inseminación artificial (IA), la ovulación múltiple y la transferencia de embriones (MOET) aumentan la tasa de diseminación de animales con rasgos que tienen un alto valor genético y comercial.

Sin embargo, las tecnologías maduras de IA y MOET no aumentan la tasa de ganancia genética de una generación a la siguiente. Este último es controlado por el intervalo generacional que es relativamente largo en el ganado (Scheffers and Weige 2012; Kasinathan et al. 2015). El intervalo generacional se puede acortar en el ganado mediante la utilización de ovocitos de vaquillonas en etapas tempranas de la vida. La activación de los folículos primordiales ováricos es evidente en el día 140 de gestación en vaquillonas fetales, los folículos secundarios están presentes en el día 210 y los folículos terciarios en el día 230 (Betteridge et al. 1989; Georges and Massey 1991).

Además, las ondas de crecimiento de ovocitos y folículos ocurren antes y en las primeras semanas después del nacimiento en vaquillonas (Evans et al. 1994b; a; Monteiro et al. 2009). Estas características de la biología ovárica en vaquillonas permiten obtener ovocitos viables antes del nacimiento (velogénesis; Betteridge et al. 1989; Georges and Massey 1991; Kauffold et al. 2005) y

mucho antes de la pubertad (Onuma et al. 1970). La producción de embriones de FIV a partir de ovocitos de ternera es hoy una tecnología comercial (Sanches et al. 2019). Sin embargo, la eficiencia de la producción de embriones in vitro (IVEP), las tasas de preñez y los nacimientos vivos son relativamente bajos con los ovocitos de terneras y vaquillonas prepuberales (Revel et al. 1995; Baruselli et al. 2016). Se necesita una mejora significativa en el éxito de IVEP con ovocitos de vaquillonas jóvenes antes de que esta tecnología pueda aplicarse ampliamente para reducir el intervalo generacional y acelerar el aumento genético en el ganado. De hecho, IVEP con ovocitos de vaquillonas jóvenes es una tecnología habilitante fundamental para la explotación de la selección genómica (Georges and Massey 1991; Davis et al. 1997; Meuwissen et al. 2001, 2013, 2016; Scheffers and Weige 2012).

El desarrollo de ovocitos en el ganado bovino está influenciado por muchos factores, incluso la raza, la edad, la nutrición y el estado hormonal y metabólico (Sartori et al. 2016; Occhio et al. 2019). En general, los ovocitos del ganado cebú (*Bos indicus*) tienen una mayor tasa de éxito con IVEP en comparación con los ovocitos del ganado británico y continental (*taurinas*, *Bos taurus*; Pontes et al. 2010; Baruselli et al. 2012). Esto se aplica tanto a los vacunos de razas productoras de carne como de leche (Watanabe et

al. 2017). Una mejor comprensión de los factores que apoyan el desarrollo óptimo de los ovocitos debe conducir a mejoras en IVEP con ovocitos de vaquillonas jóvenes.

El objetivo de la presente revisión es proporcionar al lector una actualización sobre cómo la raza y la edad de las donantes de ovocitos, y la raza de las receptoras de embriones, contribuyen al resultado de IVEP. Una visión general de la biología de la función ovárica en el ganado cebú y taurino es seguida por un enfoque de IVEP con ovocitos de terneras y vaquillonas prepuberales.

## Biología ovárica pospuberal y respuesta a la tecnología reproductiva

El ganado cebú y taurino muestra diferencias importantes en la biología ovárica básica. La desviación del folículo dominante después de la aparición de la onda folicular ocurre a los 2,5-2,6 días en las razas cebú (Sartorelli et al. 2005; Gimenes et al. 2008) y a los 2,8 días en las razas taurinas (Ginther et al. 1996). El tamaño del folículo dominante a la desviación es menor en Cebú (6.0 mm; Sartorelli et al. 2005; Gimenes et al. 2008) que en taurinas (8.5 mm; Ginther et al. 1996). Además, la adquisición de la capacidad ovulatoria del folículo dominante, medida por la ovulación después de la inyección de HL, ocurre a un diámetro menor en cebú (7,0- 8,4 mm;

Gimenes et al. 2008) que en taurinas (10 mm; Sartori et al. 2001). Además, el diámetro máximo del folículo dominante es menor en Cebú (10-12 mm) que en taurinas (14-20 mm; Bó et al. 2003).

## Recuento de folículos antrales y rendimiento de ovocitos

El ganado cebú típicamente tiene un mayor número de folículos antrales (recuento de folículos antrales, AFC) y concentraciones circulantes más altas de insulina y factor de crecimiento similar a la insulina 1 (IGF1) en comparación con la taurinas (Bó et al. 2003; Sartori et al. 2016). El mayor AFC en Cebú se asocia con un mayor número de ovocitos considerados adecuados para IVEP (Batista et al. 2014). Por ejemplo, las vaquillonas Nelore Cebú postpúberes tienen una mayor cantidad de folículos visibles, lo que se traduce en una mayor cantidad de ovocitos en la captación de ovocitos (OPU), más complejos de ovocitos y cúmulos cultivados (COC) y una mayor tasa de blastocistos que las vaquillonas Holstein taurinas (Tabla 1; Gimenes et al. 2015). En general, la IVEP se considera más eficiente en Cebú que en razas taurinas (Pontes et al. 2010; Guerreiro, Batista et al. 2014; Watanabe et al. 2017).

Las diferencias anteriores entre las vaquillonas Cebú y taurinas también se observan en las vacas maduras. En un estudio, las vacas Gyr Cebú cedieron un mayor número de ovocitos a la OPU, tenían más ovocitos viables, más ovocitos de grado A y B y menor fragmentación del ADN que las vacas Holstein taurinas (Sales et al. 2015; Tabla 2). La eficacia reducida de IVEP en vacas de razas taurinas se asocia con una menor resistencia de los ovocitos al estrés, una tasa de fertilización reducida y una menor capacidad de desarrollo embrionario (Paula-Lopes et al. 2003; Hansen 2004; Camargo et al. 2007). Los genes relacionados con el metabolismo celular (*GLUT1* e *IGF1R*) mostraron una mayor actividad en las vacas cebú (Sales et al. 2015). Las proteínas reguladoras del transporte de glucosa son importantes en la absorción de glucosa y el metabolismo general y la mayor actividad en Cebú puede explicar en parte las diferencias en la competencia de los ovocitos y el resultado de la IVEP entre Cebú y taurinas (Zhou et al. 2000; Sinclair et al. 2003; Frolova and Moley 2011). Los lípidos también tienen un papel crucial durante el crecimiento y la maduración de los ovocitos en el ganado (Castaneda et al. 2013). En un estudio, los

lípidos predominantes en los ovocitos Gyr Cebú comprendían fosfolípidos, mientras que el triacilglicerol era el principal lípido en Holstein taurinas (Marsico et al. 2021). Estas diferencias en el contenido lipídico de los ovocitos pueden explicar al menos algunas de las diferencias en la eficiencia de IVEP entre Cebú y taurinas.

El recuento de folículos antrales (AFC) muestra una gran variabilidad entre las vacas, pero es altamente repetible para animales individuales (Burns et al. 2005; Ireland et al. 2007; Batista et al. 2014; Monteiro et al. 2017; Seneda et al. 2019). Los ovocitos de vacas Nelore Cebú con AFC bajo y alto mostraron diferencias en la expresión génica que se presume que están relacionadas con diferencias en la función folicular ovárica y la fertilidad (de Lima et al. 2020). La hormona antimulleriana (AMH) ha surgido como un marcador endocrino confiable para la AFC y la reserva ovárica tanto en el ganado cebú como en el taurino (Ireland et al. 2007, 2008; Monniaux et al. 2012; Baruselli et al. 2015). AMH pertenece a la superfamilia TGFβ de factores de crecimiento y es sintetizado por células de granulosa de folículos antrales pequeños y preantrales (folículos en crecimiento hasta la etapa antral o hasta un diámetro de aprox. 6 mm; (D'Occhio et al. 2020). AMH por lo tanto proporciona un índice de la actividad del grupo folicular (Cate et al. 1986; Grootegoed et al. 1994; Durlinger et al. 1999; Weenen et al. 2004). Como tal, las concentraciones circulantes de AMH se pueden utilizar para predecir el AFC (Ireland et al. 2008; Rico et al. 2009; Batista et al. 2014) y la respuesta a los tratamientos de superestimulación folicular (Rico et al. 2009; Monniaux, Barbey et al. 2010; Monniaux, Rico et al. 2010; Souza et al. 2015). Se informó que las estimaciones de heredabilidad para el AFC y la AMH estaban altamente y positivamente correlacionadas genéticamente (Grigoletto et al. 2020). También se encontró que la AMH está relacionada con el resultado de IVEP en el ganado taurino (Guerreiro, Batista et al. 2014; Gamarra et al. 2015; Vernunft et al. 2015) y Cebú (Guerreiro, Batista et al. 2014).

**Tabla 1. Recuperación y calidad de ovocitos, y su competencia para el desarrollo, en vaquillonas Cebú (Nelore) y taurinas (Holstein) (adaptado de Gimenes et al. 2015).**

	GRUPO GENÉTICO	
	Nelore (n = 9)	Holstein (n = 9)
Número de Repeticiones	6	6
Número de sesiones OPU	54	54
RECUPERACIÓN Y CALIDAD DE LOS OVOCITOS		
Folículos visualizados	41,0 ± 2,1 <sup>a</sup>	22,1 ± 1,3 <sup>b</sup>
Total de ovocitos	37,1 ± 2,6 <sup>a</sup>	15,4 ± 1,2 <sup>b</sup>
Tasa de Recuperación (%)	82,3 <sup>a</sup>	66,8 <sup>b</sup>
Ovocitos sometidos a IVC	25,6 ± 1,8 <sup>a</sup>	9,1 ± 0,9 <sup>b</sup>
COMPETENCIA PARA EL DESARROLLO		
Estructuras escindidas	21,1 ± 1,6 <sup>a</sup>	5,2 ± 0,5 <sup>b</sup>
Tasa de clivaje (%)	82,6 <sup>a</sup>	59,9 <sup>b</sup>
Los blastocistos 7 días después de la fecundación in vitro	7,3 ± 0,9 <sup>a</sup>	1,1 ± 0,2 <sup>b</sup>
Tasa de blastocistos (%)	28,3 <sup>a</sup>	14,1 <sup>b</sup>

<sup>a,b</sup> P < 0.05.

**Tabla 2.** Calidad de ovocitos recuperados en vacas Cebú (*Gyr*) y taurinas (*Holstein*) no lactantes (adaptado de Sales et al. 2015).

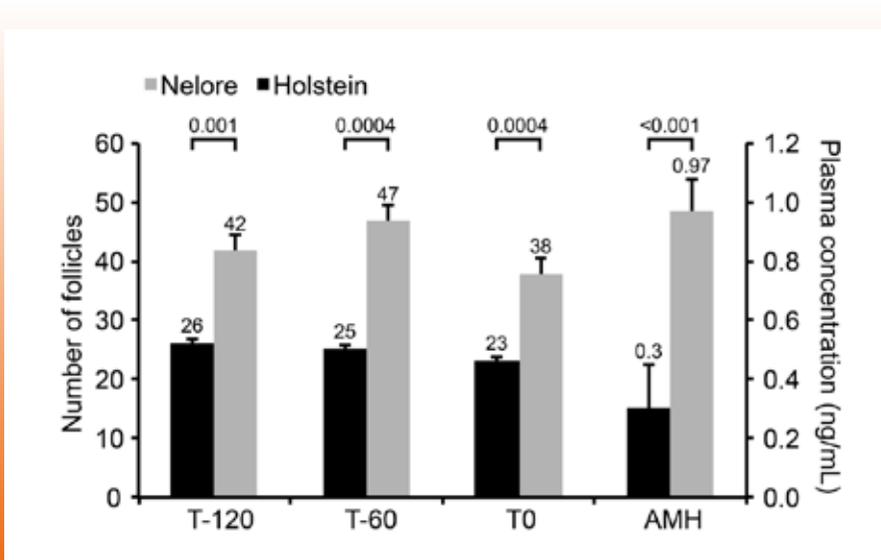
	GIR (n = 14)	Holstein (n = 14)	Valor P
RECUPERACIÓN Y CALIDAD DE LOS OVOCITOS			
Número de OPU	126	126	
Total de ovocitos recuperados	22,8 ± 1,5	14,6 ± 0,9	0,001
Número de ovocitos viables	19,3 ± 1,2	10,8 ± 0,7	0,001
Ovocitos viables/ovocitos recuperados (%)	84,9 (2416/2846)	74,1 (1343/1813)	0,001
Número de ovocitos (calidad):			
- Grado A	5,32 ± 0,44	1,66 ± 0,18	0,001
- Grado B	9,55 ± 0,62	4,92 ± 0,36	0,001
- Grado C	4,46 ± 0,44	4,24 ± 0,35	0,68
anomalía degenerativa	0,82 ± 0,16	0,90 ± 0,15	0,76
Tasa de fragmentación del ADN (tunel), %	16,6 (21/117)	40,6 (34/82)	0,004
COMPETENCIA PARA EL DESARROLLO			
Número de OPU	56	56	
Número de ovocitos escindidos	7,7 ± 0,5	2,5 ± 0,3	0,05
Tasa de clivaje (%)	73,6 (433/588)	40,8 (141/346)	0,01
Número de óvulos	3,8 ± 0,4	0,7 ± 0,1	0,01
Blastocistos/ovocitos totales (%)	36,7 (216/588)	12,1 (42/346)	0,01
Blastocistos/ovocitos escindidos (%)	49,9 (216/433)	29,8 (42/141)	0,05

Las relaciones más finas entre AFC y AMH para Cebú y taurinas se examinaron en una serie de estudios. En un estudio, las concentraciones de AFC y AMH fueron más altas en las vaquillonas Nelore Cebú que en las vaquillonas Holstein taurinas (Batista et al. 2014). En tres períodos de evaluación a intervalos de 30 días, el AFC se correlacionó estrechamente con las concentraciones plasmáticas de AMH en el tercer punto de evaluación, tanto para las vaquillonas Nelore como para las vaquillonas Holstein (Figura 1). Este hallazgo indicó que la AMH en una sola muestra de sangre tomada en etapas aleatorias del ciclo estral proporciona un índice confiable del estado folicular ovárico en todas las razas de ganado.

En un segundo estudio, el AFC fue muy variable dentro de las vaquillonas Gyr Cebú y las vaquillonas Holstein taurinas, y casi el doble en Gyr en comparación con Holstein (Baldri-ghi et al. 2014). Tanto para Gyr como para Holstein, hubo una relación positiva entre las concentraciones de AFC y AMH en plasma (Baldri-

ghi et al. 2014). En un tercer estudio, las concentraciones plasmáticas de AMH para las vaquillonas Nelore y las vaquillonas Holstein se correlacionaron

positivamente con el número de folículos aspirados, COC recuperados, COC cultivados y el número de embriones producidos con cada sesión de OPU (Guerreiro, Batista et al. 2014). Sin embargo, la tasa de clivaje del embrión y el número de blastocistos no se correlacionaron con la AMH (Guerreiro, Batista et al. 2014). No hubo relación entre los AOC totales cultivados y el número de blastocistos producidos, y parecería que la AMH en plasma puede no predecir la competencia para el desarrollo de los ovocitos (Guerreiro, Batista et al. 2014). En terneras Nelore y Holstein (2-4 meses de edad) expuestas a procedimientos OPU/IVEP, la AMH en plasma fue positiva en relación con el número de AOC recuperados, AOC cultivados y blastocistos, mostrando una importancia similar como predictor endocrino de la cantidad de folículos y embriones punzables producidos en donantes jóvenes (Batista et al. 2016). En general, se puede concluir que la AMH en plasma es prometedora como herramienta para mejorar la eficiencia de OPU/IVEP tanto en el ganado cebú como en el taurino.



**Figura 1.** Recuento de folículos antrales (AFC) 120 y 60 días antes y en el momento (T0) de la determinación de la hormona antimulleriana (AMH) en plasma en vaquillonas Cebú (Nelore, n=16) y taurinas (Holstein, n=16). Los datos se muestran como la media ± SEM (adaptado de Batista et al. 2014).



Figura 2. Ovario de una ternera Brahman de 3 meses de edad que demuestra el potencial para que la FSH estimule una gran respuesta folicular y se pueda obtener una gran cantidad de ovocitos en Cebú (Maclellan y D'Occhio, no publicado).

## Biología ovárica prepúber y respuesta a la tecnología reproductiva

El grupo folicular primordial en el momento del nacimiento en el ganado se estima en alrededor de 235.000 folículos (Erickson 1966; Betteridge et al. 1989). En todos los mamíferos la reserva primordial disminuye rápidamente con la edad (Erickson 1966). Como se señaló anteriormente, las ondas foliculares ováricas están presentes en el momento del nacimiento en vaquillonas y las terneras tienen un número relativamente grande de folículos antrales en sus ovarios (Desjardins and Hafs 1969; Rawlings et al. 2003). Se sabe desde hace más de 60 años que las terneras responden a la estimulación de la gonadotropina y se pueden recuperar ovocitos fertilizables (reviewed in Onuma et al. 1970; Seidel, Larson and Foote 1971; Seidel, Larson, Spilman et al. 1971; Seidel 1981). Hubo una pausa en el trabajo con el ganado prepúber hasta 1990-2000, cuando se disponía de gonadotropinas mejoradas (Presicce et al. 1997; Maclellan et al. 1998; Taneja et al. 2000; Currin et al. 2017). Ahora se sabe que las terneras pueden mostrar

una respuesta particularmente fuerte a la FSH como se ilustra en la Figura 2 (Armstrong et al. 1992, 1994; Maclellan et al. 1997, 1998; Fry et al. 1998; Fry 2020).

### Rendimiento de ovocitos en terneras, vaquillonas prepuberales y vaquillonas que están ciclando

La respuesta folicular ovárica en terneras (3-4 meses de edad) a diferentes tratamientos con gonadotropina,

y las comparaciones con vaquillonas cíclicas, se investigaron en Nelore y Holstein (Batista et al. 2016). Las terneras de cada raza se trataron con un dispositivo de progesterona intravaginal durante 5 días y luego recibieron pFSH el día 5 y el día 6. La OPU laparoscópica se realizó 12 h después de la última inyección de FSH (día 7). Las vaquillonas que están ciclando (Nelore, 18-24 meses; Holstein, 14-16 meses) se sometieron a OPU transvaginal en etapas aleatorias del ciclo estral. En Nelore, el número de AOC recuperados fue mayor para las terneras tratadas con FSH y vaquillonas que están ciclando, en comparación con las terneras no tratadas con FSH (Tabla 3) (Batista et al. 2016). La tasa de clivaje fue similar para terneras tratadas con FSH, terneras no tratadas con FSH y vaquillonas cíclicas (Tabla 3). El número de blastocistos producidos fue similar para terneras con y sin FSH, y ambos fueron más bajos que para vaquillonas cíclicas (Tabla 3). En Holstein, el número de folículos visualizados y AOC recuperados fue mayor para las terneras tratadas con FSH en comparación con las terneras no tratadas con FSH y vaquillonas cíclicas. El número de AOC cultivados también fue mayor para las terneras tratadas con FSH que los otros dos grupos. El número de blastocistos producidos fue similar para terneras tratadas y no tratadas con FSH, y menor para



# LS

HACIENDA  
**EL CANEY**



*Referentes del*  
**BRAHMAN ROJO** *en*  
*Colombia y el mundo.*



**Tabla 3. Número de folículos, COC y blastocistos visualizados (media ± SEM) después de OPU-IVEP en terneras Cebú (Nelore) y vaquillonas que están ciclando (adaptado de Batista et al. 2016).**

Item	Donante Nelore			valor <sup>pd</sup>
	Terneras sin FSH	Terneras con FSH	Vaquillonas que están ciclando	
Número de donantes	15	15	15	
Folículos totales visualizados	19,7 ± 4 <sup>z</sup>	32,3 ± 5,9 <sup>y</sup>	47,1 ± 6,3 <sup>x</sup>	0,003
AOC totales recuperados	13,5 ± 3,6 <sup>b</sup>	20,9 ± 5,1 <sup>ab</sup>	29,9 ± 5,3 <sup>a</sup>	0,04
Tasa de recuperación (%) <sup>c</sup>	68,5 <sup>a</sup>	64,7 <sup>b</sup>	63,6 <sup>b</sup>	0,02
COCs cultivadas	4,7 ± 1,4 <sup>c</sup>	11,3 ± 4,0 <sup>b</sup>	18,1 ± 4,0 <sup>a</sup>	< 0,0001
Tasa de cultivo de AOC (%) <sup>f</sup>	35,1 <sup>b</sup>	54,3 <sup>a</sup>	60,6 <sup>a</sup>	0,01
Tasa de clivaje (%) <sup>g</sup>	47,0	52,2	50,3	0,41
Blastocistos producidos	1,7 ± 0,7 <sup>b</sup>	2,3 ± 0,8 <sup>b</sup>	9,3 ± 2,0 <sup>a</sup>	< 0,0001
Tasa de blastocistos (%) <sup>h</sup>	12,9 <sup>b</sup>	11,3 <sup>b</sup>	30,9 <sup>a</sup>	< 0,0001

<sup>a</sup> Los datos con diferentes superíndices en la misma línea difieren en  $P \leq 0.05$  (a | b | c) o  $P \leq 0.06$  (x | y | z); <sup>c</sup> Número total de AOC/número de folículos aspirados; <sup>f</sup> Número de AOC cultivados/número de folículos aspirados; <sup>g</sup> Número de cigotos escindidos/ número de AOC; <sup>h</sup> Número de blastocistos/número de AOC

ambos grupos de terneras en comparación con las vaquillonas cíclicas (Batista et al. 2016; Tabla 4). Se concluyó de los hallazgos anteriores en Nelore y Holstein que las terneras muestran una respuesta folicular al tratamiento con FSH, pero la IVEP es menor para las terneras en comparación con las vaquillonas cíclicas. Si bien los embriones se pueden producir a partir de ovocitos de vaquillonas prepúberes, se requieren (Armstrong et al. 1992; Fry et al. 1998; Taneja et al. 2000) más estudios para comprender por qué los ovocitos de terneras tienen una menor competencia para el desarrollo (Khatir et al. 1996; Presicce et al. 1997; Majerus et al. 1999).

El éxito de OPU/IVEP también se comparó entre dos grupos de vaquillonas Nelore prepúberes (8-12 meses de edad y 18-22 meses de edad) y vaquillonas Nelore cíclicas (22- 26 meses de edad; Baruselli et al. 2016). Las vaquillonas de 8-12 meses tenían un menor número de folículos visualizados y un menor número de ovocitos recuperados que las vaquillonas mayores. No hubo diferencias entre los tres grupos en las tasas de cultivo o clivaje de AOC. Sin embargo, la tasa de blastocistos y el número total de

blastocistos producidos aumentaron con la edad y fue mayor para las vaquillonas cíclicas (Tabla 5). Esto resaltó aún más la necesidad de comprender la base para la competencia para el desarrollo de ovocitos más baja y la eficiencia IVEP reducida en vaquillonas prepúberes.

### “Costeo” (coasting, en inglés) de los folículos, recuperación de ovocitos y eficiencia de IVEP

En el modelo de —costeo‖ los ovocitos se recuperan alrededor de 48 h después del último tratamiento con FSH para estimular el crecimiento folicular (Blondin et al. 1997, 2002, 2012; Sirard et al. 1999, 2018; Goodhand et al. 1999; Landry et al. 2016, 2017). Se introdujo el “costeo” del folículo en los esfuerzos por replicar las relaciones temporales endógenas entre la FSH decreciente y la maduración de ovocitos en el ganado (Blondin et al. 2012; Sirard et al. 2018). Algunos estudios informaron mejoras en los resultados de OPU/IVEP después del —costeo‖ (Blondin et al. 2002; Vieira et al. 2014; Sirard et al. 2018), pero esto no se ha observado consistentemente (Seneda et al. 2004; Monteiro et al. 2010; Oliveira et al. 2016). También se informó una mejora en OPU/IVEP después del ‖costeo‖ de folículos en vaquillonas taurinas prepúberes (Sirard et al. 2018).

El modelo de “costeo” folicular ha sido objeto de una amplia evaluación en el ganado taurino, pero hay poca

**Tabla 4. Número de folículos, COC y blastocistos visualizados (media ± SEM) después de OPU-IVEP en terneras Cebú (Nelore) y vaquillonas que están ciclando (adaptado de Batista et al. 2016).**

	Donante Holstein			valores P
	Terneras FSH	sin Terneras FSH	Vaquillonas que están ciclando	
Número de donantes	12	12	10	
Folículos totales visualizados	22,7 ± 4,2 <sup>b</sup>	54,3 ± 9,5 <sup>a</sup>	24,9 ± 3,6 <sup>b</sup>	0,01
AOC totales recuperados	11,7 ± 2,4 <sup>bx</sup>	22,4 ± 5,4 <sup>a</sup>	9,2 ± 1,7 <sup>cy</sup>	< 0,0001
Tasa de recuperación (%) <sup>1</sup>	51,3 <sup>a</sup>	41,3 <sup>a</sup>	36,9 <sup>b</sup>	0,01
COCs cultivadas	3,6 ± 1,0 <sup>b</sup>	12,3 ± 3,5 <sup>a</sup>	4,7 ± 1,3 <sup>b</sup>	< 0,0001
Tasa de cultivo de AOC (%) <sup>2</sup>	30,7 <sup>b</sup>	37,7 <sup>a</sup>	51,1 <sup>a</sup>	0,02
Tasa de clivaje (%) <sup>3</sup>	17,8	30,5	26,1	0,47
Blastocisto producido	0,4 ± 0,2	0,7 ± 0,4	0,5 ± 0,3	0,78
Tasa de blastocistos (%) <sup>4</sup>	2,9	2,0	4,3	0,60

<sup>a</sup> Los datos con diferentes superíndices en la misma línea difieren en  $P \leq 0.05$  (a | b | c) o  $P \leq 0.06$  (x | y | z); <sup>c</sup> Número total de AOC/número de folículos aspirados; <sup>f</sup> Número de AOC cultivados/número de folículos aspirados; <sup>g</sup> Número de cigotos escindidos/ número de AOC; <sup>h</sup> Número de blastocistos/número de AOC

**Tabla 5.** Número de folículos, AOC y blastocistos visualizados (media ± SEM) después de OPU - IVEP en Cebú (Nelore) prepúber y puberales y vaquillonas (adaptado de Baruselli et al. 2016).

	Vaquillonas prepuberales (8-12 meses)	Vaquillonas prepuberales (18-22 meses)	Vaquillonas puberales (22-26 meses)	Valor p <sup>a</sup>	Ciclicidad <sup>c</sup>
Número de donantes	24	20	25		
Folículos visualizados	19,7 ± 2,1	41,3 ± 5,28	34,0 ± 3,3	< 0,0001	0,0002
AOCs recuperados	13,4 ± 1,7	30,8 ± 5,8	22,6 ± 3,2	< 0,0001	< 0,0001
AOC escindidos	5,6 ± 0,8	14,8 ± 2,5	13,3 ± 1,9	< 0,0001	< 0,0001
COCs cultivadas	7,6 ± 1,0	16,8 ± 2,7	15,1 ± 2,2	< 0,0001	< 0,0001
Tasa de cultivo de AOC (%) <sup>d</sup>	57,0	54,0	60,0	0,13	0,45
Tasa de clivaje (%) <sup>e</sup>	73,0	88,0	84,0	< 0,0001	0,25
Blastocistos producidos	1,5 ± 0,3	4,7 ± 0,9	7,2 ± 1,2	< 0,0001	< 0,0001
Tasa de blastocisto (%) <sup>f</sup>	20,2	28,1	47,0	0,05	< 0,0001

<sup>a</sup>Efecto del grupo evaluado. <sup>b</sup>Efecto de la edad en el grupo prepúber (8-12 meses vs. 18-24 meses)<sup>1</sup>. <sup>c</sup>Efecto de la ciclicidad (ciclado vs. no ciclado) <sup>d</sup>Número de ovocitos viables/número de ovocitos totales. <sup>e</sup>Número de ovocitos escindidos/número de ovocitos cultivados. <sup>f</sup>Número de blastocistos/número de ovocitos cultivados.

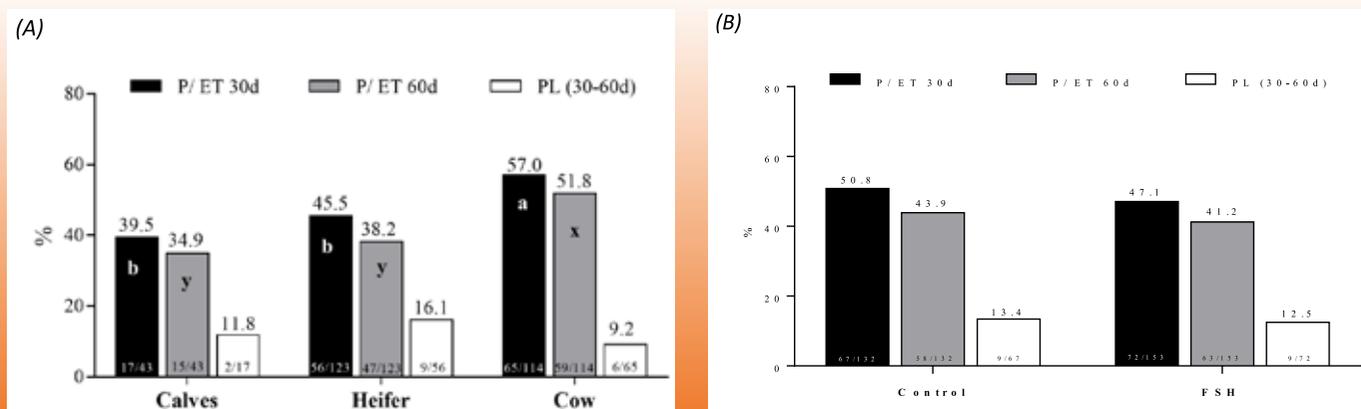
información para el ganado cebú. En un estudio reciente, las terneras Gyr Cebú, las vaquillonas puberales y las vacas maduras se sometieron a tratamiento con FSH y —costeo|| de folículos antes de OPU/IVEP (Elliff 2020). Las vaquillonas puberales tuvieron el mayor número de folículos medianos, grandes y totales después del tratamiento con FSH. En todas las

categorías de edad, el tratamiento con FSH se asoció con una menor tasa de recuperación de AOC pero una mayor tasa de clivaje. Los embriones IVEP se transfirieron a receptores Cebú x taurinas y las tasas de preñez se determinaron a los 30 y 60 días. Hubo un aumento en la tasa de preñez con la edad tanto a los 30 días (terneras, 40,0%, vaquillonas puberales, 44,5%;

vacas, 57,6%) como a los 60 días (terneras: 35,3%; vaquillonas, 38,1%; vacas, 50,4%) (Figura 3).

La pérdida de la preñez entre los días 30 y 60 no difirió entre las categorías de edad (Figura 3). Estos hallazgos fueron consistentes con estudios previos que informaron una menor tasa de preñez para embriones derivados de terneras, pero no fueron consistentes con los hallazgos previos de una mayor pérdida de preñez para embriones derivados de terneras (Levesque and Sirard 1994; Revel et al. 1995; Presicce et al. 1997; Guerreiro 2015). En el estudio Gyr anterior, el tratamiento con FSH antes de OPU/IVEP no mejoró la tasa de preñez con embriones derivados de terneras Gyr (Elliff 2020). Se suGyrió que la respuesta a la FSH aumenta hasta el período peripuberal en vaquillonas y luego se aplatina en forma de meseta (Landry et al. 2016).

Otro estudio analizó el —costeo|| de folículos en vaquillonas Nelore prepuberales (de 12 meses) y puberales (de 24 meses) (Silva 2020). Las vaquillonas recibieron FSH durante 2 días y la OPU se realizó 48 h después de la última FSH. Los embriones IVEP se vitrificaron y luego se transfirieron a receptores Cebú. Las vaquillonas puberales tenían un mayor número de



**Figura 3.** Tasa de preñez (preñez/embriones transferidos, P/TE) a los 30 y 60 días y pérdida de embriones durante la preñez (PL; entre 30 y 60 días de gestación) de embriones in vitro producidos a partir de terneras, vaquillonas y vacas Gyr (Cebú) (A) tratadas o no con FSH (B). No hubo interacciones de categoría\*FSH para P/ET y PL. (A) P/ET a 30D (a b; P=0.0623) y 60D (x y; P=0.0950) fueron mayores en vacas que en terneras y vaquillonas. (B) No se observó ningún efecto del tratamiento con FSH para P/ET y PL (adaptado de Elliff 2020).

**Tabla 6.** Número de folículos aspirados, ovocitos recuperados y embriones producidos por OPU, en vaquillonas Cebú (Nelore) de 12 y 24 meses tratadas o no con FSH. Datos presentados como media ± error estándar o como porcentaje (adaptado de Silva 2020).

	12 meses de edad		24 meses de edad		Valor P		Edad* FSH
	Control	FSH	Control	FSH	Edad	FSH	
Número de OPU	23	23	22	22	-	-	-
Folículo aspirado, No.	21,5±2,0	31,7±3,1	27,1±2,7	33,6±2,7	0,1714	0,0025	0,4838
COC recuperado, No.	18,5±1,9	14,7±1,4	23,9±2,4	17,6±1,6	0,0248	0,0077	0,4836
Tasa de COC recuperados, %	91,4%	51,3%	94,4%	52,3%	0,7609	<0,0001	8784
AOC cultivados, n	13,6±1,7	11,4±1,0	16,9±1,7	13,9±1,5	0,0585	0,0852	0,8169
Tasa de cultivo de AOC, %	73,9%	79,5%	71,6%	78,0%	0,4755	0,0225	0,8754
COCs escindidos, n	9,6±1,1	8,8±1,0	12,9±0,9	11,2±1,5	0,0211	0,3125	0,7118
Tasa de clivaje (%)	74,9%	76,9%	82,1%	79,0%	0,4060	0,9306	0,6506
Blastocistos producidos	3,3±0,6	3,5±0,6	6,9±0,9	5,9±1,2	0,0004	0,6378	0,4643
Tasa de blastocisto, %	19,2%	22,8%	30,3%	29,5%	0,0177	0,6930	0,5477

AOC recuperados, ovocitos escindidos, tasa de blastocitos y blastocitos totales (Tabla 6).

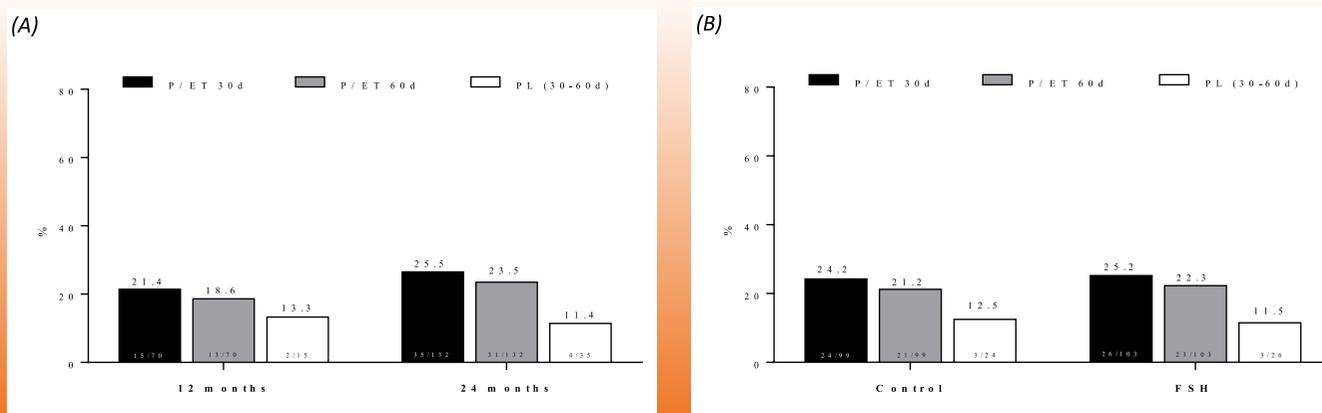
La tasa de preñez fue similar para los embriones vitrificados derivados de vaquillonas prepúberes y puberales (Figura 4). Los hallazgos indicaron que los ovocitos con competencia para el desarrollo son mayores en las vaquillonas Nelore puberales que en las prepúberes, y que la FSH aumenta el número de ovocitos viables. Si bien el

tratamiento con FSH aumentó el número de folículos medianos y grandes en las vaquillonas Nelore prepúberes y puberales, el número de ovocitos recuperados y la tasa de recuperación fueron menores con FSH que sin FSH. En otros estudios se ha observado una reducción de la recuperación de ovocitos después del tratamiento con FSH (Goodhand et al. 1999; Vieira et al. 2014). Los folículos pequeños tienen menos líquido folicular y también tiene una

menor viscosidad, y esto se asocia con una mayor recuperación de AOC (Seneda et al. 2001).

### Comparación de IVEP con ovocitos de terneras y vacas lactantes y gestantes

En un estudio con Holstein, se realizó OPU/IVEP en vaquillonas prepúberes no estimuladas, vaquillonas puberales, vacas lactantes y vacas no lactantes (Guerreiro, Rodrigues et al. 2014). Para la IVEP se utilizó espermatozoides clasificados por sexo del mismo lote de un toro probado y los embriones se transfirieron a las receptoras Cebú x taurinas. El número total de folículos visibles ≥2 mm que se aspiraron usando OPU no difirió para las diferentes categorías de edad. Sin embargo, los ovocitos recuperados de vaquillonas prepúberes se asociaron con una menor tasa de clivaje y una menor tasa de blastocistos en comparación con las otras categorías de edad (Tabla 7). Los embriones derivados de vaquillonas prepúberes dieron la misma tasa de preñez que los embriones de vaquillonas puberales, que fue menor que la tasa de preñez para embriones de vacas no lactantes y lactantes (Figura 5). Se concluyó que los



**Figura 4.** Tasa de preñez (preñez/embriones transferidos, P/ET) a los 30 y 60 días de gestación y pérdida de la preñez (PL; entre 30 y 60 días de gestación) de embriones vitrificados producidos in vitro de vaquillonas Cebú (Nelore) de 12 y 24 meses (A) tratadas o no tratadas con FSH antes de la recogida de ovocitos (OPU) (B). No hubo interacciones de categoría\*FSH para P/ET y PL. No se observó ninguna categoría o efecto del tratamiento para P/ET y PL (adaptado de Silva 2020).

**Tabla 7. Resumen de la producción de ovocitos y embriones (media + SEM) después de OPU-IVEP en vaquillonas prepuberales, vaquillonas puberales, vacas lactantes y donantes taurinas no lactantes (Holstein) (adaptado de Guerreiro 2015).**

	Vaquillonas		Vacas		Valor P
	estado prepupal	Puberal	Período de Lactancia	No lactante	
<b>Número de donantes</b>	30	30	30	30	,
<b>Folículos aspirados</b>	18,3 ± 2,1	17,3 ± 1,2	14,0 ± 1,0	17,7 ± 1,7	0,08
<b>Ovocitos recuperados (hallazgo)</b>	14,2 ± 2,2	13,1 ± 1,1	9,8 ± 1,1	14,6 ± 1,7	0,12
<b>Tasa de recuperación, %<sup>1</sup></b>	77,6 <sup>a</sup> (427/550)	75,9 <sup>ab</sup> (394/521)	69,8 <sup>b</sup> (293/420)	74,1 <sup>ab</sup> (440/592)	0,04
<b>COCs cultivadas</b>	10,5 ± 1,8 <sup>ab</sup>	8,3 ± 0,8 <sup>ab</sup>	6,5 ± 0,9 <sup>b</sup>	11,5 ± 1,4 <sup>a</sup>	0,03
<b>Tasa de cultivo de COCs, %<sup>2</sup></b>	73,8 <sup>ab</sup> (321/433)	62,9 <sup>c</sup> (252/400)	66,2 <sup>bc</sup> (197/134)	78,5 <sup>a</sup> (378/479)	< 0,0001
<b>Tasa de clivaje, %<sup>3</sup></b>	68,6 <sup>b</sup> (217/316)	98,8 <sup>a</sup> (248/252)	87,6 <sup>a</sup> (176/197)	90,1 <sup>a</sup> (325/361)	< 0,0001
<b>Tasa de blastocisto, %<sup>4</sup></b>	4,8 <sup>c</sup> (15/315)	12,7 <sup>b</sup> (31/248)	18,0 <sup>b</sup> (35/194)	36,5 <sup>a</sup> (125/378)	< 0,0001

<sup>1</sup> No. COCS /No. folículos aspirados; <sup>2</sup> No. AOC cultivados /No. total de AOC recuperados; <sup>3</sup> No. cigotos escindidos/No. ovocitos cultivados; <sup>4</sup> No. blastocistos /No. ovocitos cultivados;

ovocitos de Holstein prepúber tienen una menor eficiencia para la IVEP que los ovocitos de vacas maduras.

Otro estudio en Holstein analizó OPU/IVEP en vaquillonas prepuberales no estimuladas (8-10 meses de edad), vaquillonas puberales (10-12 meses de edad) y vaquillonas con preñeces tempranas (14-18 meses de edad; Bayeux et al. 2016). IVEP utilizó espermatozoides clasificados por sexo del mismo lote de un toro probado. Las vaquillonas puberales tuvieron un mayor número de AOC recuperadas y cultivadas en comparación con las vaquillonas prepuberales y las vacas preñadas. La tasa de clivaje fue menor para las vaquillonas prepuberales que para las vaquillonas puberales y las vacas, que no difirieron (Tabla 8). La tasa de blastocistos y blastocistos totales fue más baja para las vaquillonas prepúberes y más alta para las vacas preñadas (Tabla 8). Estos hallazgos fueron nuevamente consistentes con una menor competencia para el desarrollo para los ovocitos de vaquillonas prepuberales.

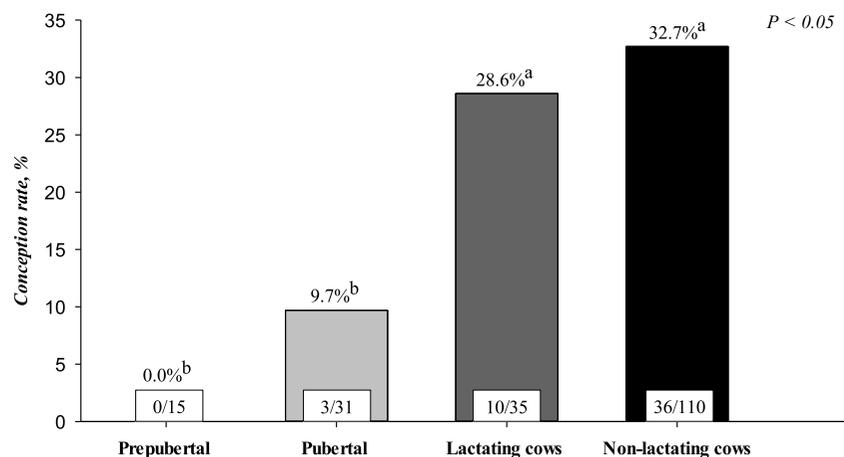
### Impacto de la somatotropina bovina sobre la OPU/IVEP en vaquillonas prepúberes

Se informó que el tratamiento con somatotropina bovina (bST) mejora la

competencia para el desarrollo de ovocitos y el desarrollo de embriones IVEP en bovinos (Pavlok et al. 1996; Bols et al. 1998; Tripp et al. 2000; Roth et al. 2002). En un estudio con Holstein, las vaquillonas prepúberes se sometieron a tratamiento con FSH solo, bST solo o FSH en combinación con bST. La FSH sola aumentó el número de folículos medianos y grandes de acuerdo con otros estudios en vaquillonas prepúberes. La bST sola se asoció con una tasa de clivaje más alta y también hubo una tendencia por parte de bST a aumentar la tasa de blastocistos y el número de blastocistos (Elliff 2020). El tratamiento con bST aumentó el IGF1 en circulación y esto puede haber sido favorable para la competencia de los ovocitos y el desarrollo del embrión IVEP (Bevers et al. 1997; Elliff 2020).

### Impacto del propilenglicol sobre la OPU/IVEP en vaquillonas prepúberes

El tratamiento de vaquillonas con restricción alimenticia con propilenglicol se asoció con una mejoría en la IVEP (Gamarra et al. 2018; Rezende et al. 2019). El propilenglicol aumenta la producción ruminal de propionato en el ganado, y también se puede



**Figura 5. Tasa de concepción de las receptoras mestizas después de la transferencia de embriones de vaquillonas prepuberales taurinas (Holstein), vaquillonas puberales, donantes lactantes y no lactantes (adaptado de Guerreiro 2015).**

**Tabla 8. Número de ovocitos recuperados, AOC cultivados, blastocistos, clivaje y tasa de blastocistos después de OPU - IVEP en donantes taurinas (Holstein) en diferentes categorías adaptadas de Bayeux et al. 2016.**

Item	Vaquillonas Holstein			Valor P
	estado prepuberal	Puberal	Preñez	
Número de donantes	60	60	59	
Número de AOC recuperados	9,8 ± 1,3 <sup>b</sup>	15,6 ± 1,4 <sup>a</sup>	9,8 ± 1,6 <sup>b</sup>	0,001
COCs cultivadas	4,6 ± 0,6 <sup>b</sup>	9,1 ± 0,9 <sup>a</sup>	5,6 ± 1,1 <sup>b</sup>	0,001
Tasa de clivaje (%) <sup>d</sup>	28,2 <sup>b</sup>	58,9 <sup>a</sup>	67,8 <sup>a</sup>	0,001
Blastocistos producidos	0,13 ± 0,1 <sup>c</sup>	0,90 ± 0,2 <sup>b</sup>	1,8 ± 0,3 <sup>a</sup>	<0,001
Tasa de blastocisto (%) <sup>e</sup>	2,3 <sup>c</sup>	11,9 <sup>b</sup>	26,9 <sup>a</sup>	<0,001

<sup>a</sup>Número de ovocitos escindidos/número de ovocitos cultivados. <sup>b</sup>Número de blastocistos/número de ovocitos cultivados. Abreviaturas: AOC, cúmulo - complejo de ovocitos; IVEP, producción de embriones in vitro; OPU, recolección de óvulos. Los datos con diferentes superíndices en la misma fila difieren en P < 0.001.

convertir en piruvato y entra en gluconeogénesis (Nielsen and Ingvarsen 2004; Kristensen and Raun 2007; Rizos et al. 2008).

El propilenglicol también influye sobre los ácidos grasos en la sangre (Nielsen and Ingvarsen 2004; Rizos et al. 2008; Rezende 2019) y en el IGF1 en el líquido folicular (Gamarra et al. 2018). A pesar del efecto del propilenglicol sobre la homeostasis energética y el IGF1, un efecto beneficioso sobre los folículos y los ovocitos en el ganado sigue siendo controvertido (Rizos et al. 2008; Rezende et al. 2017, 2019; Gamarra et al. 2018; Rezende 2019).

Otros estudios han demostrado que las concentraciones circulantes de IGF1 y glucosa están relacionadas con la calidad de los ovocitos y el resultado de la IVEP (Velazquez et al. 2005, 2009, 2012; Walters et al. 2006). El líquido folicular de las vaquillonas prepuberales tiene menos gotas lipídicas y bajos niveles de glucosa y ácidos grasos, y los ovocitos tienen pocos gránulos corticales, bajos números de mitocondrias y glutamina, piruvato y glucosa reducidos (Warzych et al. 2017). Con base en la evidencia preliminar de que el propilenglicol puede ser beneficioso para el desarrollo de ovocitos, un estudio examinó el impacto de la infusión ruminal de propilenglicol sobre la OPU/IVEP en vaquillonas Holstein prepúberes (7-8

meses de edad) (Tosta et al. 2019). El tratamiento con propilenglicol no tuvo ningún efecto beneficioso aparente sobre la IVEP y tampoco mejoró la tasa de preñez después de la transferencia de embriones (Tabla 9). El propilenglicol tampoco influyó en las concentraciones sanguíneas de IGF1 y glucosa (Tosta et al. 2019). Estos hallazgos fueron consistentes con una aparente

falta de efecto del propilenglicol en la competencia de desarrollo de ovocitos en vacas lecheras (Rizos et al. 2008).

## Impacto de la IVEP en el desempeño posterior

Los estudios en animales de laboratorio y humanos han demostrado que el fenotipo del adulto puede verse influenciado por la tecnología de reproducción asistida, incluida la IVEP (Siqueira et al. 2017). Esto puede incluir la tasa de crecimiento, el tamaño del cuerpo y de los órganos, la función cardiovascular y la homeostasis metabólica. En el ganado, la IVEP se puede asociar con un aumento del peso al nacer y una mayor pérdida neonatal (Siqueira et al. 2017, 2020). Sin embargo, poco se sabe en el ganado de las posibles consecuencias a largo plazo de las tecnologías embrionarias. Recientemente se descubrió que las vacas Holstein producto de IVEP con semen clasificado por sexo producían menos leche y tenían menos grasa y proteína láctea en comparación con las vacas producto de IVEP con semen

**Tabla 9. Número de COC y blastocistos (media ± SEM) después de IVEP y análisis metabólico de sangre (glucosa e IGF-1) en la donante prepúber taurina (Holstein) tratada con propilenglicol (adaptado de Tosta et al. 2019).**

	Donante de Holstein			valores P
	Control (7 a 8 meses)	Propilenglicol (7 a 8 meses)	Vaquillonas que están ciclando (11 a 13 meses)	
Número de donantes	7	8	8	
AOCs recuperados	14,28 ± 1,9	14,87 ± 3,9	10,50 ± 2,2	0,24
Ovocitos viables	10,71 ± 2,5	10,75 ± 2,7	9,50 ± 2,0	0,80
Ovocitos hendidos	7,71 ± 1,5	9,50 ± 2,1	6,25 ± 1,4	0,14
Tasa de clivaje (%)	54,2	64,1	59,0	0,35
Blastocisto producidos	1,71 ± 0,5	2,00 ± 0,6	3,12 ± 1,0	0,71
Tasa de blastocistos (%)	11,9	13,5	29,5	0,01
P/ET 30 d (%)	41,7 (5/12)	46,7 (7/15)	42,9 (6/14)	0,96
P/ET 60 d (%)	41,7 (5/12)	33,3 (5/15)	42,9 (6/14)	0,86
Pérdida de preñez (30-60 d) (0/5)		40 (2/5)	0 (0/6)	0,50
Glucosa (mg dL <sup>-1</sup> )	102,25 ± 1,1 <sup>a</sup>	107,71 ± 3,5 <sup>a</sup>	91,63 ± 1,4 <sup>b</sup>	0,0001
IGF 1 (ng mL <sup>-1</sup> )	280,54 ± 16,9	318,43 ± 29,3	310,12 ± 19,4	0,38

Elanco

# Belamyl-R™

¡EL RECONSTITUYENTE DE SIEMPRE  
Y EN **TODO MOMENTO!**



Recomendado por el gurú de la ganadería y con el respaldo de Elanco.

# Mezcle, Agite y Aplique

**Tabla 10. Resultados reproductivos y productivos para vaquillonas taurinas (Holstein) derivadas por IA, MOET (ET in vivo) e IVEP (ET in vitro) de 2013-2018 (adaptado de Viziack 2020).**

	IA	ET in vivo	ET-in vitro	Valor P		
				Biotec	Año	Biotec*Año
<b>Duración de la gestación (días)</b>	275,1±0,10 (n=3.759)	274,5±0,23 (n=822)	273,9±0,28 (n=490)	P=0,10	P<0.0001	P<0.0001
<b>Peso al nacer (kg)</b>	37,7±0,08 <sup>b</sup> (n=3.489)	38,0±0,15 <sup>a</sup> (n=740)	38,0±0,24 <sup>a</sup> (n=460)	P<0.0001	P<0.0001	p<0,01
<b>Mortalidad desde el nacimiento hasta el destete (%)</b>	2,79 (n=3.759)	3,77 (n=822)	2,86 (n=490)	P=0,62	P=0,82	P=0,30
<b>Peso al destete (kg)</b>	101,1±0,13 (n=3.489)	100,3±0,29 (n=740)	102,9±0,32 (n=460)	P=0,03	P<0.0001	P<0.0001
<b>Edad al primer servicio (meses)</b>	14,2±0,03 (n=2.901)	14,2±0,06 (n=706)	14,3±0,10 (N = 201)	P=0,86	P<0.0001	P=0,27
<b>Edad al primer parto (meses)</b>	24,8±0,06 (n=2.134)	25,0±0,12 (n=525)	24,9±0,27 (n=86)	P=0,71	P=0,0002	P=0,49
<b>Producción de leche en la primera lactancia (305 días; L)</b>	9.626,0±44,9 (n=2.065)	9.821,6±84,6 (n=516)	9.501,8±230,6 (n=85)	P=0,93	P<0.0001	P=0,56

convencional, MOET y IA (Siqueira et al. 2017). En otra encuesta grande en Holstein, los terneros producto de IVEP con semen clasificado por sexo y MOET tendieron a ser más pesados al nacer que los terneros producto de IA, a pesar de no haber diferencias en la duración de la gestación (Viziack et al. 2019; Viziack 2020). No se observaron diferencias en el peso al nacer entre terneros derivados de embriones in vitro e in vivo. No hubo diferencias importantes entre las vaquillonas IVEP, MOET y IA para la mortalidad de nacimiento a destete, la edad al primer servicio, la edad al primer parto y la producción de leche en la primera lactancia (Viziack 2020; Tabla 10).

Más recientemente, los embriones IVEP Holstein con el mismo trasfondo genético se transfirieron o a vacas de razas de carne o a vacas Holstein lactantes (Factor et al. 2019). Las vacas de razas de carne tuvieron una gestación más corta y los terneros nacidos de vacas de razas de carne tenían un peso al nacer más bajo y una mortalidad más baja desde el nacimiento hasta el destete (Tabla 11). No hubo diferencias en el peso al destete entre terneros nacidos

a vacas de razas productoras de carne o de leche. Después del destete, todas las terneras se mantuvieron en el mismo sistema de manejo hasta la primera concepción, parto y primera lactancia. No se observaron diferencias en la edad al primer parto y la producción de leche en la primera lactancia (Tabla 11).

Aunque los datos muestran escasas diferencias en el rendimiento reproductivo y productivo entre animales nacidos con diferentes biotecnologías (IA, MOET, OPU/IVEP; Tabla 10) y de receptoras de diferentes grupos genéticos (ganado de razas productoras de carne o de leche; Tabla 11), se debe tener precaución al interpretar estos datos. Aunque las terneras de estos estudios se manejaron de manera similar después del nacimiento, no se pueden descartar algunas diferencias desconocidas en el manejo. Se necesitan más estudios para aclarar los efectos de la tecnología de reproducción asistida sobre las consecuencias a largo plazo en el ganado.

**Tabla 11. Resultados reproductivos y productivos para vaquillonas taurinas (Holstein) derivadas por transferencia de embriones IVEP a receptoras de razas productoras de carne (vacas Cebú y taurinas de raza mestiza) o vacas Holstein lactantes de 2013-2018 (adaptado de Factor et al. 2019.)**

	Receptor productos lácteos	de Receptor de carne de vacuno	Valor de P		
			Destinatario	Año	Destinatario*Año
<b>Duración de la gestación receptoras (días)</b>	274,0 ±0,24 (n=470)	269,1±0,22 (n=462)	< 0,0001	< 0,0001	0,2850
<b>Peso en el parto (kg)</b>	35,7±0,16 (n=438)	34,5±0,10 (n = 424)	0,0367	< 0,0001	<b>0,0135</b>
<b>Peso al destete (kg)</b>	103,5±0,21 Dos veces al día + TBO N=426	102,2±0,22 (n=430)	0,9185	< 0,0001	<b>0,0481</b>
<b>Mortalidad desde nacimiento al destete (%)</b>	3,7 (n=17/464)	0,5 (n=2/436)	0,0064	0,0096	<b>0,0030</b>
<b>Edad a la primera concepción (días)</b>	473,9±3,06 (n=301)	477,6±2,93 (n= 337)	0,8110	<b>0,0039</b>	0,1369
<b>Duración de la gestación en vaquillonas (días)</b>	272,4 ±0,68 (n=302)	269,1±0,87 (n = 391)	0,7410	<b>0,0236</b>	0,8742
<b>Aborto (%)</b>	13,2 (n=45/340)	7,0 (n=29/414)	0,9127	<b>0,0002</b>	0,8257
<b>Edad a la primera parición</b>	738,1±3,90 (n=340)	746,1±3,16 meses N= 326	0,7073	<b>0,0011</b>	0,1733
<b>Producción de leche primera lactancia en 305 días (L)</b>	9597,5±207,05 (n=91)	10471,7±151,96 (N=200)	0,0576	<b>0,0387</b>	0,6315
<b>Primer pico de leche de lactancia (L)</b>	44,9±1,02 (n=53)	45,1±0,39 (N = 201)	0,9437	0,3189	0,1149

# proGENE

*Fertilización in vitro*

- Fertilización in Vitro
- Aspiración Folicular
- Transferencia de Embriones
- Congelación (DT) y Vitrificación de Embriones
- Evaluación Andrológica y Congelación de Semen
- Ecografía y Sexage Fetal
- Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF)
- Asesoría Reproductiva Especializada
- Venta de Embriones, Preñeces, Receptoras y Animales Puros
- Capacitación en Biotecnologías



Carrera 81 D N° 25C - 31 Bogotá (Colombia)  
57 + (320) 343 0639 / 57 + (321) 206 0057

   @ProgeneColombia

La eficiencia de *OPU/IVEP* con ovocitos de ternera sigue siendo menor que para los ovocitos de vaquillonas puberales y vacas, tanto en Cebú como en taurinas. Los ovocitos de las terneras tienen una tasa de clivaje con *IVEP* más baja y una tasa de blastocistos más baja. Las terneras cebú generalmente producen más ovocitos y tienen un mejor resultado con *IVEP* en comparación con las terneras de taurinas. Durante el período prepuberal, los folículos y los ovocitos en las vaquillonas se exponen progresivamente a una condición metabólica madura. Las señales metabólicas actúan tanto sobre el cerebro como sobre los ovarios para lograr la transición de las vaquillonas jóvenes a la pubertad (D'Occhio et al. 2019; Occhio et al. 2019).

Los ovarios en terneras aún no han sido expuestos al mismo ambiente hormonal y metabólico que apoya el crecimiento y la maduración de folículos y ovocitos en animales mayores. Esto podría explicar en parte de por qué la *IVEP* tiene una menor eficiencia con los ovocitos de las terneras.

A pesar de esta menor eficiencia, la *OPU/IVEP* en terneras se ha convertido en una tecnología reproductiva habilitante de gran relevancia para la explotación de la selección genómica en bovinos. La edición de genes con



Fotografía cortesía: Hacienda Criadero La Ponderosa

tecnología *CRISPR* resalta aún más la creciente importancia de *OPU/IVEP* en terneras (Lamas-Toranzo et al. 2018; Menchaca et al. 2020). Las combinaciones de *OPU/IVEP* en terneras, selección genómica y *CRISPR* crean muchas oportunidades no disponibles previamente en el ganado para reducir el intervalo generacional y acelerar la ganancia genética. Esto proporciona

una justificación convincente para la investigación sobre la mejora de la eficiencia de *OPU/IVEP* en terneras. En este sentido, los estudios de expresión génica con ovocitos en diferentes categorías de edad tienen el potencial de proporcionar información fundamental que podría proveer usarse para mejorar la *IVEP* usando ovocitos de terneras (Warzych et al. 2017). 6

