

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD XOCHIMILCO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y ANIMAL  
LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL

**“Biotecnologías reproductivas aplicadas en ganado porcino en México.  
Revisión bibliográfica.”**

Prestadora de Servicio Social:  
Martha Paola Valdés Trejo  
Matrícula: 2143059903

  
Asesores:  
Interno: Dr. José Ernesto Hernández Pichardo  
Núm. Económico: 16587



Externo: MBE. José Luis Rodríguez Suástegui.  
Cédula Profesional: 9598993

Lugar de Realización:  
Laboratorio “Manejo de la Reproducción”, Universidad Autónoma Metropolitana,  
Unidad Xochimilco.  
Fecha de inicio y de término:  
Del 1 marzo al 1 septiembre de 2021

## 2. ÍNDICE

<b>3. RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>4. INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>3</b>
<b>5. MARCO TEÓRICO. ....</b>	<b>4</b>
5.1. Inseminación Artificial. ....	4
5.1.1 IAC.....	5
5.1.2. IAPC. ....	5
5.1.3. IAP.....	5
5.2. Sincronización de estros mediante el uso de hormonas.....	6
5.3. Superovulación. ....	6
5.4. Transferencia de embriones.....	6
5.5. Fertilización <i>in vitro</i> . ....	7
5.6. Criopreservación.....	7
5.7. Citometría espermática. ....	8
5.8. Clonación. ....	8
5.9. Transgénesis.....	9
<b>6. OBJETIVOS. ....</b>	<b>10</b>
6.1. Objetivo general.....	10
6.2. Objetivos específicos.....	10
<b>7. METODOLOGÍA UTILIZADA.....</b>	<b>10</b>
<b>8. ACTIVIDADES REALIZADAS. ....</b>	<b>10</b>
<b>9. OBJETIVOS Y METAS ALCANZADAS.....</b>	<b>11</b>
<b>10. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>11</b>
<b>11. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>15</b>
<b>12. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>15</b>

### **3. RESUMEN.**

Las técnicas de reproducción asistida son clave para mejorar la eficiencia de la producción animal en las empresas ganaderas, en la actualidad se han utilizado diferentes técnicas de reproducción en cerdos para lograr los objetivos deseados, los cuales incluyen, incrementar la eficiencia reproductiva y productiva, mejorar la composición genética de los animales de granja, reducir el riesgo de enfermedades y lesiones, producir resistencia contra el clima y agentes infecciosos, e investigación (Safdar *et al.*, 2020). De igual forma se obtienen múltiples beneficios como la erradicación de problemas reproductivos comunes tales como la infertilidad, la baja tasa de concepción, la menor producción, la baja composición genética de los animales y la mortalidad embrionaria temprana, las cuales representan una gran pérdida económica y desafortunadamente, estas técnicas solo se utilizan en pocas granjas (Gelayenew y Asebe, 2016; Verma, *et al.*, 2012).

### **4. INTRODUCCIÓN.**

La importancia de la carne de cerdo radica en que es una de las principales fuentes de proteína para la población por su digestibilidad, contenido en aminoácidos esenciales, cuenta con una alta proporción de hierro y zinc, entre otros minerales, así como vitaminas del grupo B, especialmente tiamina (vitamina B<sub>1</sub>), niacina (vitamina B<sub>3</sub>), piridoxina (vitamina B<sub>6</sub>) y cobalamina (vitamina B<sub>12</sub>) (Moreiras, *et al.*, 2013). El cerdo es la carne más consumida en el mundo, a pesar de las restricciones religiosas y culturales que existen en algunos países, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018), el consumo per cápita mundial anual de carne de cerdo en 2018 fue de 12.3 kg de carne en canal, más que el de la carne de res (6.5 kg) y menor que la de pollo (14.2 kg). Por otra parte, el consumo per cápita en México ha aumentado desde 1990 hasta 2020 de 7 kg/año a 16 kg/año, se estima que para el 2025 crezca un 9%. (OCDE, 2019).

Los países en los que se concentra la mayor producción de carne de cerdo son China, la Unión Europea y los E.U.A. con un porcentaje del 75% de la producción mundial, México es un productor mediano, que representa 1.1% de la producción mundial y es deficitario, ya que va aumentando la población y con ello la demanda, en el 2003 la producción de carne era 1.03 millones de toneladas, en el 2017 la producción fue de 1.44 millones de toneladas,

es decir, la producción creció 39% en ese periodo, a una tasa media de crecimiento anual de 2.38% (OCDE, 2019). La especie porcina además de ser importante desde el punto de vista productivo, también es considerada como modelo esencial en diferentes tipos de investigaciones biomédicas y como potencial donante de órganos en humanos (Marinone, *et al.*, 2018). Es por esto que se necesita incrementar el desarrollo de nuevas tecnologías, así como de un aumento en la mejora e implementación de las ya existentes, las biotecnologías reproductivas comprenden una serie de biotécnicas cuya finalidad es aumentar la eficiencia reproductiva y las tasas de mejoramiento genético de los animales contribuyendo de esta forma a desarrollar la producción del sector ganadero, conservar las especies en peligro de extinción, incrementar favorablemente la multiplicación y transporte de material genético así como, almacenar recursos genéticos únicos que puedan disponerse con relativa facilidad para su posible utilización futura (González y González, 2005).

## **5. MARCO TEÓRICO.**

### **5.1. Inseminación Artificial.**

Una de las biotecnologías que es ampliamente usada en el ganado porcino es la Inseminación Artificial (IA), la cual consiste en colocar espermatozoides viables en el tracto reproductivo de una hembra en estro, con el objetivo de lograr una preñez exitosa, de manera más extensa podemos definir a la IA como la técnica mediante la cual es posible extraer semen a un reproductor, diluirlo y conservarlo, con el propósito de llevarlo al lugar ideal del aparato genital de la hembra, con el fin de fecundarla, realizando esta técnica en el momento oportuno y con el instrumental adecuado (Compagnoni, *et al.*, 2019). La IA en la especie porcina ha sido un instrumento de gran utilidad para la mejora global de las pjaras en cuanto a fertilidad, genética, sanidad y manejo, con los progresos en el desarrollo de diluyentes de larga duración, la capacidad de conservar el semen durante un período más prolongado abrió las puertas a una rápida aceptación de la IA en todo el mundo (Knox, 2016). Existen diferentes tipos de IA que se distinguen por el lugar en el que es depositado el semen, estas son la IA convencional (IAC), IA postcervical (IAPC) y la IA profunda (IAP) (Compagnoni, *et al.*, 2019).

### **5.1.1. IA convencional (IAC).**

La IAC ayudo a la mejora genética en las granjas ya que se podía utilizar semen de otros núcleos de razas, también permitió una mejora en la productividad y eficiencia laboral debido a que con esta técnica se detectan los signos de estros en 1-2 minutos y la IA solo requiere 4 minutos aproximadamente, otra ventaja es que ayudó a un mejor control de bioseguridad y control de enfermedades en las granjas ya que no había contacto directo entre los cerdos, algunas desventajas de la IAC son: mala calidad del semen, mal manejo de semen en la colecta, fallos en el procesamiento y almacenamiento del semen, contaminación bacteriana del semen, falta de capacitación de los encargados de la inseminación (Knox, 2016; López *et al.*, 2017).

### **5.1.2. IA postcervical (IAPC).**

La IAPC es una técnica que consiste en depositar la dosis de semen en el cuerpo uterino por medio de un tubo interior o cánula insertada en un catéter, llegando así a 15-20 cm más profundo que la IAC, las ventajas de esta técnica son que requieren de un menor número de espermatozoides por dosis sin afectar el rendimiento reproductivo por lo que se pueden producir más dosis de semen por macho, la tasa de éxito de esta técnica puede llegar a ser de 95% en cerdas multíparas, sin embargo algunas de las desventajas son la dificultad de usar esta técnica en hembras jóvenes, la tasa de éxito en estas cerdas es del 30 al 40% y la probabilidad de infecciones son más altas (García *et al.*, 2019).

### **5.1.3. IA profunda (IAP).**

La IAP se utiliza para reducir al menos 8-10 veces el volumen de la dosis de semen sin afectar la fertilidad, ya que los espermatozoides se depositan profundamente en la parte media o superior en uno de los cuernos uterinos, una de las principales ventajas de esta técnica es el uso de pequeños volúmenes de semen descongelado, esta técnica disminuye el reflujo del semen, las desventajas son la baja fertilidad que está relacionada con el intervalo de la IAP y la ovulación debe ser de 4 a 8 hrs de ovulación espontánea, por lo que se requiere de un control cuidadoso y frecuente de los signos del celo en la cerdas (Wongtawan *et al.*, 2006).

## **5.2. Sincronización de estros mediante el uso de hormonas.**

Otra de las técnicas que se ha aplicado ampliamente, es la inducción y sincronización de estros mediante el uso de hormonas (Quiles y Hevia, 2015). La manipulación del ciclo estral se puede lograr mediante el uso de fármacos como los progestágenos ( $P_4$ ) y las prostaglandinas ( $PGF_{2\alpha}$ ) naturales y sintéticas, los primeros simulan la existencia de un cuerpo lúteo, mientras que los segundos provocan la lisis del mismo, junto con la programación y regulación del ciclo estral (Kirkwood y Kauffold, 2015), algunas de las ventajas del manejo hormonal son: disminuir los días no productivos, manejo homogéneo y regular de la pira, la introducción de lotes de manera uniforme, planificación del manejo de animales por grupo para disminuir el estrés y el uso de otras técnicas reproductivas asistidas, algunas de las desventajas la sincronización de estros son: el uso de progestágenos y  $PGF_{2\alpha}$  son costosos, requieren mucho tiempo y mucho esfuerzo por parte del personal ya que se requiere de un conocimiento del ciclo estral de las cerdas (Hirayama *et al.*, 2019).

## **5.3. Superovulación.**

Existe otra técnica llamada superovulación, como su nombre lo indica consiste en la estimulación del ovario para aumentar el número de folículos en desarrollo lo que dará un aumento en la tasa de ovulación, para esta superovulación se utilizan hormonas endógenas como la gonadotropina coriónica equina (eCG) y gonadotropina coriónica humana (hCG) estas hormonas aumentan el rendimiento productivo y reproductivo de las hembras (Lapian *et al.*, 2020). Las ventajas del uso de estas hormonas son: aumento del crecimiento del folículo, reducción del intervalo de ovulación, aumento en el número de ovocitos, sin embargo, entre las desventajas que pueden presentarse son: aumento de la incidencia de quistes foliculares, reducción de la tasa de preñez, ovarios poliquísticos sin signos de ovulación (Gil *et al.*, 2014; Manjarín *et al.*, 2020).

## **5.4. Transferencia de embriones.**

La transferencia de embriones (TE) es una técnica que consiste en la obtención de óvulos fertilizados de una hembra (donante) y su transferencia al aparato reproductor de otra (receptora) de la misma especie, donde se desarrolla la gestación y se produce el parto, este procedimiento depende por completo de la disponibilidad de una fuente de embriones de calidad adecuada y el medio uterino propicio de la receptora al momento de la

transferencia (sincronía) (Hincapie, *et al.*, 2005). Las ventajas de esta técnica son: la obtención de recursos genéticos de excelentes animales reproductores, que permitirán un aumento de la productividad en granja, ya que se tendría animales de alto valor que cubran las demandas de la producción, entre las desventajas de esta técnica se encuentran la alta mortalidad del embrión durante la fase de unión debido a la falta de interferones para el reconocimiento materno-fetal, tasa baja de término de gestación, tamaño pequeño de la camada, anomalías en la gestación y el nacimiento, baja eficiencia, dificultad para realizarse (París *et al.*, 2021; Martínez *et al.*, 2022)

### **5.5. Fertilización *in vitro*.**

La penetración de espermatozoides capacitados en ovocitos maduros fuera del tracto genital femenino se ha definido como fertilización *in vitro* (FIV). Sin embargo, esta definición clásica ha sido hoy en día modificada con el desarrollo de la técnica de inyección intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI), que se considera una variante de la FIV tradicional, en cualquier sistema de FIV, los espermatozoides ya sean eyaculados o epididimales, deben ser sometidos a un proceso de capacitación espermática mediante procedimientos *in vitro* con medios de cultivo adecuados y lavados, por otro lado, los ovocitos utilizados en los programas de FIV pueden ser ovocitos madurados *in vivo* o madurados *in vitro*, tras el cocultivo de ambos tipos de gametos se procede a la valoración de los resultados de penetración espermática o bien al cultivo adicional de los cigotos resultantes durante un tiempo variable y la posterior transferencia a hembras receptoras en sincronía fisiológica (Ruiz, 2016). Las ventajas de esta técnica son: aumento de la reproducción eficiente, acelera la mejora genética, ofrece ventajas para la salud de los cerdos y proporciona medios importantes para la investigación biomédica, entre las desventajas se encuentra: el alto costo de inversión, bajas tasas de preñez, alteraciones genéticas, bajas tasas de nacimiento (Hongfeng, 2007).

### **5.6. Criopreservación.**

La criopreservación espermática es otra biotecnología que tiene por objetivo preservar el semen en un estado viable a temperaturas extremadamente bajas (- 196 °C), es decir, es un proceso mediante el cual se logra la preservación de material genético contenido en los espermatozoides en el tiempo sin que sufran cambios en la integridad de su estructura, minimizando el daño que podría producir la formación de hielo intracelular para lo cual se

deshidratando las células antes del enfriamiento y se exponen a crioprotectores (Gurgul *et al.*, 2018). Su objetivo es la conservación de los recursos genéticos por largos periodos de tiempo, así como facilitar el transporte de material genético entre países, además, el semen criopreservado (SC) se utiliza también asociado a otras tecnologías reproductivas, tales como la fertilización *in vitro*, transferencia de embriones y sexaje de semen (Gerrits, *et al.*, 2005). Entre las desventajas de esta biotecnología son: daño osmótico causado por el ciclo de congelación y descongelación, formación de hielo intracelular, recristalización durante el proceso de calentamiento, daño en la membrana celular, lo que conlleva a una disminución del porcentaje de espermatozoides viables para fecundar (Gurgul *et al.*, 2018).

### **5.7. Citometría espermática.**

La clasificación por citometría de flujo permiten separar eficazmente los espermatozoides viables portadores de un cromosoma X o Y, aunque las cantidades de células recuperadas son incompatibles con las prácticas tradicionales de inseminación artificial, son suficientes cuando se combinan con técnicas de FIV, este podría llegar a ser el método predilecto para generar embriones del sexo deseado, el sexado de embriones es otra técnica de biotecnología reproductiva en la que, mediante la utilización de PCR, se puede determinar las secuencias específicas de ADN que están presentes solo en el cromosoma Y (Choudhary *et al.*, 2016). La citometría espermática ayuda a mejorar el manejo reproductivo debido a la capacidad de planificar apareamientos para líneas macho o hembra, la mejora de la eficiencia productiva de las granjas fomenta una reducción de las emisiones contaminantes producidas por la industria porcina, también beneficia en el comercio ya que hay países que prefieren la carne de cerdo de hembra, sin embargo algunos de los inconvenientes son: los altos costos que involucra esta técnica ya que requiere de tecnologías combinadas como transferencia de embriones o fertilización *in vitro*, las manipulaciones del semen lo someten a estrés, reduciendo su viabilidad, capacidad de almacenamiento y capacidad de fertilización después de la clasificación, se requiere de un número elevado de espermatozoides clasificados por sexo para lograr una fertilidad satisfactoria después de la IA (Vázquez *et al.*, 2009).

### **5.8. Clonación.**

La clonación representa una de las tecnologías de gran interés mundial en la actualidad, debido a su aplicabilidad en los animales de importancia económica, a pesar de que



actualmente es baja su eficiencia, constituye una alternativa en la solución de los problemas reproductivos (Rogers *et al.*, 2008). Se pueden distinguir tres tipos diferentes de clones, según se obtengan mediante: la división limitada de un embrión (los clones son genéticamente idénticos); la introducción de una célula embrionaria en una zona enucleada (los clones pueden diferir en su herencia citoplásmica) y la introducción del núcleo de una célula somática, tras haber invertido la quiescencia del ADN, en una zona enucleada (los clones pueden diferir en su herencia citoplásmica, y probablemente se conoce ya bastante bien el fenotipo del progenitor que proporciona la célula somática) (González y González, 2005).

Algunas ventajas de la clonación son: mejora genética del cerdo, producción de cerdos transgénicos para uso médico y trasplante de órganos, también permite preseleccionar determinadas características genotípicas deseables, entre algunas de las desventajas se encuentra que la eficiencia de esta técnica es muy baja, debida a la alta incidencia de muerte fetal, crecimiento excesivo y malformaciones de la placenta, defectos fenotípicos como polidactilia, piel edematosa, hipertensión pulmonar, entre otras (Seong *et al.*, 2007).

### **5.9. Transgénesis.**

En cuanto a la transgénesis, esta biotecnología ha sido reportada por primera vez en cerdos en el año de 1985, por dos equipos de investigación de Alemania y E.U.A. donde se obtuvieron cerdos transgénicos mediante el empleo de técnicas de inyección pronuclear (Gadea, *et al.*, 2009). En la actualidad se ha producido un gran avance en la generación de animales transgénicos con el desarrollo de nuevas técnicas y metodologías, como el uso de vectores virales, o el uso de espermatozoides como mediadores de la transferencia genética (SMGT) y la clonación de las células somáticas, este desarrollo tecnológico ha permitido superar en parte las limitaciones que presenta la inyección pronuclear (Bacci, 2007; Niemann y Kues, 2007; Robl, 2007). Cabe mencionar que entre todas las finalidades de los cerdos transgénicos resalta la importancia que tienen para el área de biomédica, en la que destacan a los cerdos como biomodelos de enfermedades humanas y como potenciales donantes de órganos que pudieran ser trasplantados en los humanos (xenotransplantes) (Deschamps, 2005). Sin embargo algunas de las desventajas de esta técnica son: la complejidad y el equipo que requiere para realizarse, la inestabilidad de los vectores, la difícil manipulación, baja tasa de eficiencia, falla en los genes funcionales del

animal, difícil inserción del gen en las regiones específicas del genoma (Estrada, 2010).

## **6. OBJETIVOS.**

### **6.1. Objetivo general.**

Realizar una revisión bibliográfica sobre las biotecnologías reproductivas utilizadas en los últimos 15 años en el ganado porcino en México, indicando las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

### **6.2. Objetivos específicos.**

- Identificar las principales biotecnologías reproductivas en la industria porcina.
- Conocer las técnicas de cada una de las biotecnologías reproductivas.
- Analizar las ventajas y desventajas de cada una de las biotecnologías reproductivas aplicadas en la industria porcina.

## **7. METODOLOGÍA UTILIZADA.**

El presente Servicio Social se realizó de forma bibliográfica, analizando las biotecnologías reproductivas que se han aplicado en ganado porcino en México en los últimos 15 años. Realizando una búsqueda de los últimos 15 años. Dicha búsqueda incluyó la revisión en: libros, revistas especializadas, tesis de licenciatura y posgrado, así como trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales sobre biotecnologías reproductivas en ganado porcino. Las principales plataformas que se usaron fueron: ELSERVIER, SCOPUS, SciELO, Springer Link, Research Gate, Redalyc, NCBI. Una vez recuperadas esta información se clasificó por biotecnología reproductiva, para posteriormente analizar cada una de ellas, indicando ventajas y desventajas.

## **8. ACTIVIDADES REALIZADAS.**

Se realizó una revisión bibliográfica de las biotecnologías que se han utilizado en el ganado porcino, esta revisión permitió conocer cada una de estas técnicas, así como sus ventajas y desventajas.

## **9. OBJETIVOS Y METAS ALCANZADAS.**

Se lograron las metas y objetivos establecidos en el Servicio Social ya que, a través de esta revisión bibliográfica realizada, se determinaron las principales biotecnologías reproductivas aplicadas en los porcinos en México, se identificó las características de cada una de ellas, así, como los beneficios productivos y reproductivos de estas técnicas, incluyendo las desventajas y dificultades de ellas.

## **10. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.**

La IAC es una de las biotecnologías más utilizadas en las producciones porcinas ya que ha sido fundamental para mejorar la fertilidad, la genética y la salud de la piara, una de las principales desventajas de la IAC son las grandes cantidades de semen que necesitan para realizarse, según Knox (2016) las dosis tradicionales de semen deben de contener de  $2.5 \times 10^9$  a  $3 \times 10^9$  espermatozoides/75-100 mL, por lo que se han creado nuevas técnicas de inseminación como la IAPC y IAP que permiten utilizar reducidas cantidades de espermatozoides, Cane y colaboradores (2019), realizaron un experimento donde compararon la IAC con la IAPC, para la IAC utilizaron dosis de  $3 \times 10^9$  espermatozoides en 100 mL/dosis, mientras que en la IAPC se utilizó  $1.5 \times 10^9$  espermatozoides en 50 mL/dosis, al momento de analizar los resultados solo se encontró un incremento del índice de partos con IAPC comparada con la IAC (84.80% vs 71.4%), en los otros parámetros analizados como el número de camada, el número de lechones vivos por camada y el número de lechones mortinatos o fetos modificados no hubo diferencias significativas comparado estas dos técnicas de inseminación, estos resultados concuerdan con los reportados por Martínez y colaboradores (2022), ellos compararon la IAC y la IAP utilizando diferentes dosis de semen descongelado y fresco, las dosis utilizadas fueron:  $0.15 \times 10^9$  espermatozoides/5 mL de semen descongelado y  $2.85 \times 10^9$  espermatozoides/95 mL en semen fresco, los resultados significativos que obtuvieron fueron en el porcentaje de cerdas fecundadas bilateralmente ya que en el grupo donde se utilizó la técnica de IAP se obtuvo una tasa de fecundación bilateral en un 35%, mientras que con el uso de la técnica IAC solo se obtuvo un 5% de fecundación bilateral, sin embargo en el porcentaje de tasas de fecundación no hubo resultados significativos al momento de comparar ambas técnicas de inseminación, aunque en la IAC se utiliza mayor cantidad de espermatozoides, el tiempo de la inserción del catéter es menor en comparación con la IAPC y IAP, estas técnicas

también puede llegar a generar sangrados al momento de insertar los catéteres y requieren del manejo hormonal para la inducción de la ovulación e inseminación a tiempo fijo. El uso de estas técnicas es más caro para el productor, por lo que estas técnicas solo son alternativas para la IA, pero requieren de mayores estudios para estandarizar las dosis de semen y el momento exacto de la ovulación para utilizar estas técnicas (Cane *et al.*, 2019). La sincronización de estros mediante el uso de hormonas es una gran herramienta para poder aumentar la productividad en las granjas y acortar los tiempos en los que no son productivas las cerdas, sin embargo aún no hay un protocolo de sincronización universal, ya que los protocolos deben de usarse y adaptarse al estado fisiológico de las cerdas y al manejo de las granjas (Martínez, 2022). Wei y colaboradores (2022) diseñaron un protocolo para inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) en cerdas primerizas, en este experimento utilizaron progesterona sintética + eCG+ GnRH y lo compararon con un grupo control, los resultados significativos que obtuvieron fueron un aumento en la tasa de parto (80% vs 27.7%) y el tamaño de la camada viva (12.75% vs 10.2%) por lo que el uso de este protocolo mejora la eficiencia reproductiva en cerdas primerizas en cuanto estas dos variantes, Rodríguez y colaboradores (2020), realizaron un experimento donde compararon dos protocolos diferentes para inducir la ovulación y después IATF, ellos utilizaron 3 grupos, el grupo 1 utilizó inyecciones intramusculares de eCG seguidas de hormona luteinizante porcina, el grupo 2 utilizó la deposición intravaginal de acetato de triptorelina y el grupo 3 fue control, entre los resultados reportaron que, el grupo control presento una mayor tasa de partos en comparación con los otros grupos (grupo1 con 75.8%, grupo 2 con 80.3% y control 89.5%), mientras que las primeras cerdas en parir eran las del grupo 2 y el peso al destete fue mayor en los grupos 1 y 2 ya que pesaban 80 g más que el grupo control, por lo que el uso de estos protocolos permite tener un rango más estrecho en las fechas de parto y una mejora en los pesos al destete de los lechones en comparación con los métodos convencionales sin el uso de hormonas, sin embargo las mejores tasas de partos se obtuvieron utilizando métodos convencionales, por lo que se necesita buscar otras opciones de protocolos de sincronización de estros para poder tener mejores porcentajes en los valores reproductivos y productivos de las cerdas.

Actualmente existen excelentes reproductores en la industria porcina, pero estos tienen una vida económica limitada, muchos países han intentado obtener los recursos genéticos de estos animales en otros animales dentro de su producción, por esta razón se han

realizado estudios en los cuales combinan las biotecnologías reproductivas, Gil y colaboradores (2014) evaluaron la efectividad de los protocolos de superovulación para mejorar la eficiencia de los donantes de embriones para los programas de TE, en cerdas Duroc puras, estas fueron tratadas con 1000 UI o 1500 UI de eCG, las cerdas con signos evidentes de celo fueron tratadas con 750 UI de hCG al inicio del celo, también se usó un grupo control las cuales no recibieron tratamiento hormonal, las cerdas fueron inseminadas y el 11,1% de las cerdas tratadas con las dosis altas de eCG presentaron ovario poliquístico sin signos de ovulación, las cerdas restantes si quedaron preñadas sin diferencias en la tasa de fertilización, el número de cuerpos lúteos, embriones viables y transferibles fue mayor en los grupos superovulados, se realizaron 46 TE con lo cual obtuvieron una tasa de gestación y parto del 75.1% y 73.2%, con estos resultados confirman que el uso de la superovulación aumenta el número de embriones sin afectar la calidad y capacidad para desarrollarse a término después de la TE, sin embargo los protocolos de superovulación en conjunto con TE en ocasiones no responde de manera positiva ya que, González y colaboradores (2021), realizaron un estudio administrando progestágenos desde el día del destete durante 14 días, más un protocolo de superovulación utilizando hCG + eCG, dio como resultado un aumento los porcentajes de cerdas con quistes ováricos y el desarrollo de ovarios poliquísticos, la tasa de gestación y fertilización también se vieron afectadas negativamente con este tratamiento ya que casi el 70% de las estructuras clasificadas eran ovocitos inmaduros por lo cual no se benefició la producción de embriones viables y transferibles, debido a estos resultados se requiere de mayor investigación para poder así aumentar la eficiencia del uso de estas técnicas reproductivas.

Una de las principales desventajas del uso de las nuevas biotecnologías de la reproducción es el estrés que se somete a las células al momento de su manipulación, una de las técnicas que se ve afectada es la FIV como lo menciona Current y colaboradores (2022), el estrés generado por las temperaturas ambientales elevadas podría reducir la fertilidad y el desarrollo embrionario temprano, por lo que realizaron un estudio en el cual utilizando medios de maduración con ácido linoleico o linolénico 50  $\mu$ M durante la maduración de los ovocitos, se obtiene una reducción en los efectos dañinos al disminuir la fecundación poliespérmica y aumentar la tasa de formación de blastocistos, por lo tanto hay un mayor desarrollo embrionario, Nguyen y colaboradores (2019), evaluaron el efecto que tiene el ácido clorogénico (CGA) en la maduración de ovocitos porcinos bajo estrés por calor y el

posterior desarrollo embrionario, se suplementó el medio de maduración con 50  $\mu\text{M}$  CGA con el cual obtuvieron una mejoría en el porcentaje de los ovocitos maduros y redujo la tasa de apoptosis en relación con los ovocitos maduros sin CGA, también encontraron un aumento en el número total de blastocistos en tratamientos con CGA, siendo este un medio efectivo para reducir los efectos negativos del estrés.

En la criopreservación el semen se somete a estrés durante su proceso de congelación y descongelación ya que este proceso causa daño oxidativo a los espermatozoides, lo cual reduce su fertilidad, es por esto que diferentes investigadores como Bang y colaboradores (2022), realizaron un estudio en donde buscaban mejorar la calidad posterior a la descongelación del semen de cerdo mediante la suplementación con quercetina (QRN) a diferentes concentraciones (0, 25, 50 y 100  $\mu\text{M}$ ), los resultados demuestran que el semen suplementado con QRN 50  $\mu\text{M}$  mejora significativamente la calidad de los espermatozoides después de la descongelación, ya que mejoro la integridad funcional de la membrana plasmática (47.5%) y la integridad del acrosoma (73.6%) en comparación con las otras concentraciones, este grupo también obtuvo la mayor actividad mitocondrial (43%) , por lo que el uso de QRN es una herramienta eficaz para reducir el daño oxidativo durante la congelación de los espermatozoides, Lee y Kim (2018), también consideraron el daño oxidativo como uno de los principales problemas de la criopreservación por lo cual realizaron un estudio en donde evaluaron los efectos de la astaxantina en diferentes concentraciones (0, 10, 50, 100 y 500  $\mu\text{M}$ ), los resultados que encontraron fueron una mayor motilidad progresiva, mayor número de espermatozoides viables en el grupo con astaxantina 500  $\mu\text{M}$ , en comparación al grupo control, por lo que es una posible alternativa para reducir el estrés oxidativo al que se somete el semen.

La citometría espermática también genera estrés en los espermatozoides ya que son sometidos a procesos como tinción de ADN, exposición al láser, impacto físico de los espermatozoides clasificados contra los tubos de recolección y altas tasas de dilución, por lo que se reduce la vida útil de los espermatozoides, esta es una de las principales limitantes ya que se requiere de un número elevado de espermatozoides clasificados para lograr una fertilidad satisfactoria después de la IA, es por eso que el uso de la citometría trabaja en conjunto con la técnica de IAPC, Fantinati y colaboradores (2005) utilizaron estas dos técnicas en conjunto, utilizando dosis de semen de  $1,5 \times 10^9$  espermatozoides/5 mL espermatozoides por cuerno, con el cual obtuvieron tasa de fecundación del 94.5% de las

cerdas, obteniendo así resultados favorables al momento de hacer la combinación de las biotecnologías reproductivas.

La clonación y la transgénesis son biotecnologías reproductivas de suma importancia para el área biomédica, ya que los cerdos se han utilizado como modelos para la investigación biomédica por su similitud anatómica y fisiológica con los humanos, se han realizado estudios de trasplantes de órgano en el campo de xenotrasplantes, también se han utilizado en estudios relacionados con el cáncer, modelos neuronales y metabólicos, los primeros cerdos transgénicos se generaron mediante microinyección de AD, sin embargo esta técnica tiene baja eficiencia y varios niveles de expresión génica, lo que ha llevado a que la transferencia nuclear de células somáticas, sea la preferida para el desarrollo de cerdos transgénicos (Soo *et al.*,2016)

## 11. RECOMENDACIONES.

Las biotecnologías reproductivas han ayudado mucho a la mejora genética y reproductiva de las granjas, sin embargo, aún se necesitan más estudios para poder estandarizar las técnicas de cada una de las biotecnologías y así obtener altas tasas de fertilización y término de gestación. También se requiere de mayor conocimiento y difusión de las biotecnologías más rentables en las que las ventajas sean mayores y no representen una alta inversión, particularmente a los pequeños productores de México, ya que el consumo per cápita va en aumento y con ello la demanda.

## 12. LITERATURA CITADA.

- **Bacci M. (2007).** A brief overview of transgenic farm animals. *Veterinary Research Communications*. 31(1): 9-14.
- **Bang S. Tanga B., Fang X., Seong G., Saadeldin I., Qamar A., Lee S., Kim K., Park Y., Nabeel A., Yu I., Cooray A., Lee K., Cho J.,(2022).** Cryopreservation of Pig Semen Using a Quercetin-Supplemented Freezing Extender. *Life*. 12(8):1155-1169.
- **Cane F., Pereyra N., Cane V., Marini P., Teijeiro J. (2019).** Improved farrowing rate using intrauterine insemination in sows. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10(3):583-594.
- **Choudhary K., Kavya K., Jerome A., Sharma R. (2016).** Advances in reproductive

biotechnologies. *Veterinary World*. 9(4): 388-395.

- **Compagnoni M., Tittarelli C., Williams S. (2019).** Inseminación artificial en la especie porcina: dosis inseminante en la relación con el lugar de deposición. *Analecta Veterinaria*. 39(2): 33-46: 1514-2590.
- **Current J., Mentler M., Whitaker B., (2022).** Linoleic and linolenic acids reduce the effects of heat stress-induced damage in pig oocytes during maturation in vitro. *In vitro cellular & developmental biology. Animal*. 58(7):599-609.
- **Deschamps J. (2005).** History of xenotransplantation. *Xenotransplantation*. 12(2): 91-109.
- **Estrada J. (2010).** El cerdo transgénico: ¿curiosidad científica o realidad médica? *Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 2(1):39-45.
- **Fantinati P., Zannoni A., Bernardini C., Webster N., Lavitrano M., Forni M., Seren E., Bacci M. (2005).** Laparoscopic insemination technique with low numbers of spermatozoa in superovulated prepuberal gilts for biotechnological application. *Theriogenology*. 63(3):806-817.
- **Gadea F., García V., Raquel R., Ivador, R. (2009).** Biotecnología de la reproducción en la especie porcina. *Animales de Laboratorio*. 42: 4-10.
- **García V., Mellagi A., Ulguim R., Hernández C., Llamas P., Bortolozzo F. (2019).** Post-cervical artificial insemination in porcine: The technique that came to stay. *Theriogenology*. 129(1): 37-45.
- **Gelayenew B., Asebe G. (2016).** Review on major assisted reproductive technologies global journal of science frontier research: agriculture and veterinary review on major assisted reproductive technologies. *Global Journal of Science Frontier Research: Agriculture and Veterinary*. 16: 51-55.
- **Gerrits R. Lunney J., Johnson L., Pursel V., Kraeling R., Rohrer G., Dobrinsky J. (2005).** Perspectives for artificial insemination and genomics to improve global swine populations. *Theriogenology*. 63: 283-299.
- **Gil M., Ángel M., Cuello C., Sánchez O., Gomis J., Parrilla I., Vila J., Colina I., Diaz M., Reixach J., Vázquez J., Vázquez J., Roca J., Martínez E. (2014).** *Theriogenology*. 81(6):832-839.
- **González F., y González M. (2005).** Biotecnología reproductiva: Una alternativa para mejorar la producción animal. *Biotempo*. 5: 5-11.



- **González R., Cuello C., González P., Vázquez J., Vázquez J., Rodriguez M., Gil M., Lucas A., Parrilla I., Martinez E., (2021).** A Short-Term Altrenogest Treatment Post-weaning Followed by Superovulation Reduces Pregnancy Rates and Embryo Production Efficiency in Multiparous Sows. *Frontiers in veterinary science*.18(8): 771573.
- **Gurgul A., Romanek J., Pawlina T., Szmatoła T., Opiela J., (2018).** Evaluation of changes arising in the pig mesenchymal stromal cells transcriptome following cryopreservation and Trichostatin A treatment. *Plos One*. 13(2):26.
- **Hincapie J., Rito R., Campo E. (2005).** Reproducción animal aplicada: fundamentos de fisiología y biotecnología. *Tegucigalpa, Honduras*. 126-130.
- **Hirayama Y., Yoshioka K., Noguchi M., Misumi K. (2019).** Embryo collection from pigs post-pseudopregnancy induced by estradiol dipropionate. *Animal Science Journal*. 90(12), 1523-1529.
- **Hongfeng W. (2007).** Test tube pigs are now a Reality. *National Hog Farmer*. 52(12): 16-19.
- **Kirkwood R, Kauffold J. (2015).** Advances in the management of reproduction and the use of ovulation induction for fixed-time AI. *Reproduction in Domestic Animals*. 50: 85–89.
- **Knox R. (2016).** Artificial insemination in pigs today. *Theriogenology* 85(1): 83-93.
- **Lapian M., Pendong A., Rahasia C., Poli Z., Rawung V. (2020).** The effect of superovulation and different feed protein levels on sow reproductive performance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 492 (1).
- **Lee E., Kim D. (2018).** Effects of Astaxanthin on Miniature Pig Sperm Cryopreservation. *BioMed Research International*. 1(9):9.
- **López R., Van S., Arsenakis I. (2017).** Boar management and semen handling factors affect the quality of boar extended semen. *Porc Health Manag* 3(15).
- **Manjarín R., García J., Hoving L., Soede N., Maj M., Dominguez T., Kirkwood R. (2020).** Ovulatory Response of Weaned Sows to an Altered Ratio of Exogenous Gonadotrophins. *Animals* 10(3): 380.
- **Marinone A., Kaiser G., Hozbor F., Mucci N. (2018).** Biotécnicas reproductivas en la especie porcina: pasado, presente y futuro. RIA. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 44(2):2-12

- **Martínez C., Álvarez R., Rodríguez M. (2022).** Decreased expression of interferon stimulated genes in peri-implantation endometrium of embryo transfer recipient sows could contribute to embryo death. *Animal: an international journal of animal bioscience*. 16(8); 100590.
- **Moreiras O., Carbajal A., Cabrera L., Cuadrado C. (2013).** Tablas de composición de alimentos. *Guía de prácticas*. 16ª ed. Madrid: Ediciones Pirámide. España.
- **Nguyen T., Do L., Somfai T., Otoi T., Taniguchi M., Kikuchi K. (2019).** Presence of chlorogenic acid during in vitro maturation protects porcine oocytes from the negative effects of heat stress. *Animal science journal*. 90(12): 1530-1536.
- **Niemann H., Kues W. (2007).** Transgenic farm animals: an update. *Reproduction Fertility and Development*. 19(6): 762-70.
- **Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018).** Perspectivas alimentarias-Análisis del mercado mundial. 2018. Panorama del mercado mundial de la carne.
- **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). (2019).** Exámenes de Mercado en México: Estudio de caso de mercado de la Carne de Cerdo, 15-47.
- **París O., Navarro S, Soriano U., Lopes J., Matás C., Ruiz S., Latorre R., López A., Romar R., Cánovas S., Coy P. (2021).** Reproductive fluids, used for the in vitro production of pig embryos, result in healthy offspring and avoid aberrant placental expression of PEG3 and LUM. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 12(1).
- **Quiles A., Hevia M. (2015).** Uso de hormonas en el manejo reproductivo de la cerda. *Producción Animal*. 288: 2-6.
- **Robl J. (2007).** Transgenic animal production and animal biotechnology. *Theriogenology*. 67: 127-133.
- **Rodríguez L., Amezcua R., Cassar G., O'Sullivan T., Friendship R. (2020).** Comparison of Single, Fixed-Time Artificial Insemination in Gilts Using Two Different Protocols to Synchronize. Ovulation. *Animals*. 10(2):306-310.
- **Rogers C., Stoltz D., Meyerholz D., Ostedgaard L., Rokhlina T., Taft P., Rogan M., Pezzulo A., Karp P., Itani O., Kabel A., Wohlford C., Davis G., Hanfland R., Smith T., Samuel M., Wax D., Murphy C., Rieke A., Whitworth K., Uc A., Starner T.,**

- Brogden K., Shilyansky J., McCray P., Zabner J., Prather R., Welsh M. (2008).** Disruption of the CFTR gene produces a model of cystic fibrosis in newborn pigs. *Science*. 321(5897): 1837-41.
- **Ruiz L. (2016).** Fecundación *in vitro* en la especie porcina: Situación actual y perspectivas. *Cría y Salud*. 30:66-70.
  - **Safdar T., Ammun M., Jazad H., Iqbal N., Sadiq A., Luqman Z., Aslam S., Hussain N., Annisa S, Qasir H. (2020).** Improving Livestock Production Using Auxiliary Reproductive Biotechnology. *Acta Scientific Veterinary Sciences* 2: 35-38.
  - **Seong K., Jae H., Parque J., Yun J., Jae I., Kyu C., Eun J., Sea H., Sang J. (2007).** Serial cloning of pigs by somatic cell nuclear transfer: Restoration of phenotypic normality during serial cloning. *Developmental Dynamics*. 236(1): 3369-3382.
  - **Soo Y., Ki Y., Choong L., Byeong C., Goo J. (2016).** Transgenesis for pig models. *Journal of Veterinary Science*. 17(3):261-268.
  - **Vázquez J., Parrilla I., Roca J., Gil M., Cuello C., Vazquez J., Martínez E., (2009).** Sex-sorting sperm by flow cytometry in pigs: Issues and perspectives. *Theriogenology*. 71(1), 80-88.
  - **Verma O., Kumar R., Kumar A., Chand S. (2012).** Assisted reproductive techniques in farm animal - from artificial insemination to nanobiotechnology. *Veterinary World*. 5(5): 301-310.
  - **Wei X., Qiaoli W., Mingzhi L., Chuang L., Qianqian Z., Xiaoyu C., Zhiwei Z., Xiaohuan F., Sa L., Xiaolei Z., Weidong H., Jianzhi P., Jianhui T., Junjie L. (2022).** Effect of fixed-time artificial insemination on corpus luteum gene expression at the day 16 and 25 pregnancy of gilt. *Animal biotechnology*. 33(7): 1510-1518.
  - **Wongtawan T., Saravia F., Wallgren M., Caballero I., Rodríguez H. (2006).** Fertility after deep intra-uterine artificial insemination of concentrated low-volume boar semen doses. *Theriogenology*. 65(4): 773-787.