

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

PROYECTO DE SERVICIO SOCIAL

Uso de somatotropina bovina en un protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo en
ganado de carne

Prestadora de Servicio Social: Ramos Pérez Mariel Alejandra
Matrícula: 2172036030

Asesores:

Interno: Dr. Guzmán Sánchez Azulán
Número económico: 34155

Externo: Dr. René Carlos Calderón Robles
Cédula profesional: 2093247

Lugar de realización:

Laboratorio de Bioquímica de la Reproducción. Universidad Autónoma Metropolitana
unidad Xochimilco

Fecha de inicio y de término: 10 de Febrero del 2023 – 10 de Agosto del 2023

Índice

Introducción.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Marco teórico.....	3
Sistema de producción vaca-cría.....	3
Protocolos de sincronización e inseminación artificial a tiempo fijo (IATF).....	4
Acción de la somatotropina bovina recombinante (BrST).....	5
Factor de crecimiento similar a la insulina tipo-I (IGF-I) en el desarrollo folicular.....	5
Actividades realizadas.....	6
Resultados.....	8
Discusión.....	9
Conclusión.....	11
Recomendaciones.....	11
Agradecimientos y fuente financiadora.....	11
Referencias.....	12

Introducción

En la actualidad los tratamientos comúnmente empleados para la sincronización de estro y ovulación, también conocidos como protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), en vacas productoras de carne difieren básicamente en la hormona que se usa para sincronizar el desarrollo folicular. Así, los protocolos de IATF que se usan en la actualidad se basan en el uso de estradiol, GnRH o progesterona (Hernández-Coronado et al., 2023). Resultados previos de nuestro grupo de trabajo han mostrado que vacas productoras de carne tratadas con un protocolo IATF basado en estradiol tienen una tasa de preñez a estro sincronizado mayor que las vacas tratadas con protocolos basados en GnRH (Vázquez-López et al., 2021). A pesar de esto, la tasa de preñez encontrada fue baja comparada con lo reportado en la literatura. Por esta razón es importante desarrollar estrategias que puedan mejorar la respuesta reproductiva en animales sometidos a estos protocolos. La somatotropina bovina (BST) promueve la secreción de IGF-I desde el hígado y se sabe que este factor de crecimiento promueve el desarrollo folicular (Rosales-Torres et al., 2012). Algunos estudios han mostrado que el tratamiento con BST al inicio de protocolos basados en estradiol incrementa el diámetro del folículo preovulatorio (Kaminski et al., 2019) lo cual podría incrementar la tasa de preñez a estro sincronizado.

Objetivo general

Evaluar el efecto del uso de somatotropina recombinante bovina (brST) al inicio de un protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo sobre la respuesta reproductiva en bovinos productores de carne.

Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de gestación a estro sincronizado en bovinos productores de carne con el uso de brST.
- Determinar el porcentaje de gestación del empadre en bovinos productores de carne con el uso de brST.

- Determinar el efecto del uso de brST sobre la dinámica folicular de bovinos productores de carne sometidos a un protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo.

Marco teórico

Sistema de producción vaca-cría

El sistema de producción vaca-cría consiste en la producción de becerros al destete, que son vendidos para ser desarrollados y engordados principalmente en estados del centro y norte del país. El sistema de producción vaca-cría es común en la región tropical del país, donde; los becerros se alimentan por amamantamiento no restringido y son destetados aproximadamente a los 7-8 meses de edad, cuando alcanzan un peso aproximado de entre los 170 y 250 kg (Bautista-Martínez, *et al.*, 2021).

Los animales que se usa sobre todo en áreas tropicales son generalmente cruza de razas europeas con cebuinas, ya que estas últimas aportan mayor resistencia al clima y a las infestaciones por ectoparásitos y las razas europeas confieren características productivas y mejor calidad de la carne (Alcalá-Galván, *et al.*, 2018).

Para medir la eficiencia reproductiva o productiva de un sistema de producción, es necesario contar con parámetros ya establecidos, como los siguientes:

- Edad al primer parto (EPP): Refleja el tiempo que le toma a una hembra alcanzar la madurez sexual y reproducirse por primera vez, un valor mayor a 33 meses se considera anormal. Reducir este parámetro influye positivamente en la rentabilidad del sistema porque incrementa el desempeño productivo del animal durante su vida reproductiva (Vázquez-Loaiza, *et al.*, 2021).
- Porcentaje o tasa de concepción: Se determina dividiendo el número de hembras que quedan gestantes entre el total de vacas que fueron servidas durante el período de empadre y se busca que este valor sea mayor o igual al 80% (Bustillos, & Melo, 2020).
- Intervalo parto-concepción (IPC) o días abiertos (DA): Es en el tiempo que transcurre desde el parto hasta que la hembra queda gestante nuevamente, en la

literatura se reportan periodos de 110 días como normales (Bustillos, & Melo, 2020).

- Intervalo entre partos (IEP): Se refiere al tiempo que transcurre entre un parto y el siguiente de la misma vaca. Este es uno de los parámetros más relevantes en cuanto a la evaluación de la eficiencia reproductiva de un hato, 365 días se considera el valor ideal (Vázquez-Loaiza, et al., 2021).

En los sistemas de producción vaca-cría del trópico mexicano el comportamiento productivo y reproductivo del ganado es ineficiente, ya que se reportan valores de EPP de 36 meses, tasas de concepción de entre el 55 y 60%, IPC de 120 días e IEP de 15 meses, esto en ganado con cruza de razas europeas y cebuinas (Mejía-Bautista, et al., 2010).

Protocolos de sincronización e inseminación artificial a tiempo fijo (IATF).

Una estrategia para mejorar la eficiencia reproductiva en los sistemas de producción de becerro es la implementación de protocolos de IATF los cuales nos pueden ayudar además, a acelerar el avance genético del hato (García, et al., 2017; Horrach, et al., 2020). Los protocolos de IATF consisten básicamente en acelerar la luteolisis, simular la fase lútea del ciclo estral, promover el inicio de nuevas oleadas foliculares y provocar la ovulación, mediante el uso de hormonas (García, et al., 2017; Lozano Domínguez, et al., 2020). Algunas de las ventajas de los protocolos de IATF son las siguientes; no es necesaria la detección de celos para llevarla a cabo la IA (García, et al., 2017), reduce el IPC y el IEP, permite desplazar el patrón de pariciones al periodo del año más conveniente y servir a las vacas poco después del periodo de espera voluntaria, sin importar en qué estado de ciclicidad ovárica se encuentren, incrementando así, las tasas de servicio y de preñez del hato (Horrach, et al. 2020).

A pesar de las ventajas que representan los protocolos de IATF, los resultados que se han reportado son muy variables ya que se han reportado tasas de preñes a estro sincronizado que van del 6 al 100% (Bó et al., 2016). De esta manera es necesaria evaluar estrategias que permitan mejorar los protocolos e incrementar su eficiencia.

Acción de la somatotropina bovina recombinante (brST).

La somatotropina bovina tiene diversos efectos metabólicos, entre los que se encuentran el aumento de la gluconeogénesis hepática, disminución de lipólisis basal (cuando el animal está en balance energético positivo), aumento de lipólisis basal (cuando el animal está en balance energético negativo; Vargas, *et al.*, 2006). Estos efectos metabólicos y sus efectos sobre el crecimiento tisular están mediados en parte por su efecto sobre la síntesis y secreción de factor de crecimiento parecido a la insulina tipo I (IGF-I) principalmente en hígado (Hernandez-Ceron, & Gutiérrez-Aguilar, 2013).

Debido a todos los beneficios que nos ofrece esta hormona a finales de la década de los años 70 se sintetizó por primera vez somatotropina bovina recombinante (brST), (Vargas, *et al.*, 2006) y en 1982 fue publicado el primer estudio sobre el uso de brST en vacas lecheras y sus efectos sobre la función reproductiva (Hernandez-Ceron, & Gutiérrez-Aguilar, 2013). Se ha reportado que en rumiantes una única aplicación de brST (500 mg) al momento de la inseminación artificial mejora el desarrollo embrionario, incrementando la producción de interferón tau (IFNT) y aumentando a su vez la tasa de concepción, (González-Gómez, *et al.*, 2019). También existen estudios que afirman que la aplicación de brST a dosis de 500 mg, 10 días después de la IA tiene un efecto positivo sobre la tasa de preñez ya que mejora el desarrollo del cuerpo lúteo, incrementando la producción de progesterona (Lozano Domínguez, *et al.*, 2020). Además, la brST, participa en la regulación de la foliculogénesis y la maduración de los ovocitos, mejorando el desempeño reproductivo de los animales (Hernandez-Ceron, & Gutiérrez-Aguilar, 2013). Todos estos efectos positivos están asociados con el IGF-I, el cual actúa como un mediador de la brST en el organismo (Lozano Domínguez, *et al.*, 2020).

Factor de crecimiento similar a la insulina tipo-I (IGF-I) en el desarrollo folicular.

El IGF-I es un péptido que se produce en la mayoría de los órganos y tejidos del cuerpo incluyendo hipotálamo, ovarios, oviductos, útero e hígado (Ruiz, J., 2011). A nivel folicular el IGF-I, incrementa la cantidad de receptores para FSH y LH en las células de la granulosa, así como la actividad de sistemas receptores para segundos mensajeros de

estas gonadotrofinas. De esta manera, el IGF-I estimula la proliferación, el crecimiento, la diferenciación, la supervivencia y la capacidad esteroidogénica de las células foliculares (Lenz, *et al.*, 2007). En folículos preovulatorios el IGF-I y otras sustancias aumenta el número de capas de células granulosas, disminuyen los receptores a FSH y aumentan los receptores a LH, disminuyendo la síntesis de estradiol e incrementando la síntesis de progesterona, todo esto con la finalidad de preparar al folículo para la ovulación (Peralta, & Velázquez, 2013; Hernández, 2016).

Las concentraciones de IGF-I en sangre se han asociado con algunos parámetros reproductivos como la edad a primer parto y la tasa de concepción, esto es importante porque significa que puede usarse esta concentración como un factor de predicción del éxito reproductivo (Taylor *et al.*, 2004).

Material y Métodos

- **Localización:** La presente investigación se realizó en 2 ranchos particulares; el primero es el "Rancho El Paraíso de Ayotoxco" ubicado en el municipio de Ayotoxco de Guerrero, Puebla con coordenadas 19° 59' 54" y 20° 08' 48" de latitud Norte y los meridianos 97° 21' 18" y 97° 27' 42" de longitud Occidental. En este rancho el clima que predomina es el cálido húmedo con lluvias todo el año, con una precipitación promedio anual de 2400 mm y temperatura de 20 a 26°C, y la vegetación predominante es de pastizales tipo estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y grama (INEGI, 2010); El segundo rancho está ubicado en el municipio de San Rafael, Veracruz con coordenadas 20° 08' y 20° 18' de latitud norte; los meridianos 96° 46' y 97° 02' de longitud oeste. El clima que predomina en esta región es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con una precipitación promedio anual de 1500 mm y temperatura de 24 a 26°C (INEGI, 2010).
- **Animales:** Para el estudio se utilizaron un total de 108 animales posparto con condición corporal (CC) entre 3.5 y 6 en una escala del 1 al 9, las cuales son alimentadas con pastos nativos en sistemas extensivos.

- **Diseño experimental:** Todos los animales se sometieron a un protocolo de IATF como sigue. A todas las hembras se les aplicaron 2 mg de Benzoato de estradiol (BE, 2 mg; SYNTEX, México) y un dispositivo intravaginal impregnado con progesterona (DIP; Sincrogest, Ourofino 20g) el día cero. Ocho días después se retiró el Sincrogest y se les aplicó PGF2 α (25 mg vía intramuscular), posteriormente, entre 54 y 60 horas después de retirar el dispositivo se realizó la IATF junto con una aplicación de GnRH (SincroForte, Ourofin, 100 μ g vía intramuscular).

En el día cero, los animales fueron divididos en dos grupos experimentales balanceados por condición corporal y días posparto. Los animales del grupo control no recibieron ningún tratamiento adicional al de la sincronización, mientras que las vacas del grupo BST recibieron una inyección de somatotropina (500 mg) recombinante bovina del laboratorio AGENER UNIAO junto con la aplicación del BE.

Posterior a la IATF se realizó un periodo de empadre, el cual comenzó 10 días después de la inseminación y duró 80 días, se hizo a razón de 20 hembras por toro con monta natural.

- **Ultrasonografía ovárica:** El día 0 y el día 8 en relación a la aplicación del Sincrogest se realizó ultrasonografía ovárica, para evaluar estructuras la dinámica folicular. Del mismo modo, 35 días post inseminación y 30 días después de finalizar el empadre se realizó ultrasonografía para diagnosticar gestación y se determinará la tasa de gestación a estro sincronizado y la tasa de gestación del empadre.
- **Análisis estadístico:** Para evaluar la respuesta reproductiva a los diferentes tratamientos hormonales se registró el número de animales en estro, la fertilidad a estro sincronizado y la fertilidad del empadre. Las diferencias en el porcentaje de presentación de estro, P/AI y tasa de preñez del empadre se determinaron mediante regresión logística usando los tratamientos como factor principal. Adicionalmente se determinó el efecto de la presencia del CL y el estatus de la ola de crecimiento folicular sobre la tasa de gestación a estro sincronizado también

por regresión logística. Las diferencias en el diámetro del folículo preovulatorio por tratamiento se determinaron mediante una prueba de t de student.

Resultados

La respuesta al protocolo de IATF en vacas productoras de carne tratadas o no con BST se muestra en el cuadro 1. A pesar de que el uso de BST aumentó ($P=0.0507$) el diámetro del folículo preovulatorio (FPO), la tasa de preñez por IATF fue similar entre las vacas del grupo control y las del grupo tratado con BST. En cuanto a la presentación de estro previo a la inseminación y la tasa de preñez del empadre no se observaron diferencias ($P>0.1$) entre los grupos experimentales.

Cuadro 1. Respuesta de las vacas a los dos tratamientos.

	BST	Control	Valor de P
Presentación de estro	35/51 (68.6)	34/54 (62.9)	0.3429
Tasa de preñez por IATF	24/53 (45.3)	18/55 (32.7)	0.1270
Tasa de preñez por empadre	29/53 (54.7)	27/55 (49.1)	0.3475
Diámetro de FPO (mm)	8.7±0.4	7.6±0.4	0.0507

El efecto de la presencia de cuerpo lúteo (CL) y el estatus de la ola de crecimiento folicular al momento de aplicar y retirar el DIP sobre la tasa de preñez por IATF se muestra en el cuadro 2. La tasa de preñez por IATF fue mayor en las vacas que tenían CL al inicio del protocolo, respecto a las que no tenían CL ($P=0.0119$), sin embargo, la presencia de CL al finalizar el protocolo no modificó la tasa de preñez por IATF. En relación, al estatus de la ola de desarrollo folicular, animales con una ola de desarrollo folicular en fase de selección y dominancia (SyD; presencia de un folículo >6 mm de diámetro) tanto al aplicar como al retirar el DIP tuvieron mayor tasa de preñez por IATF ($P<0.05$) que animales que tenían una ola de crecimiento folicular en fase de reclutamiento (R; Folículos ≤ 6 mm de diámetro).

Cuadro 2. Factores analizados en relación con la tasa de preñez por empadre. *Cuerpo lúteo (CL), dispositivo Sincrogest (DIP), reclutamiento (R), selección y dominancia (SyD)*

Factor	Nivel	n	Gestante	%	Valor de P
CL al inicio de la sincronización	NO	1	26	32.1	0.0119
	SI	7	16	59.3	

CL al retiro del DIP	NO	7	28	36.4	0.3766
	SI	2	11	42.3	
Estatus de la ola de crecimiento folicular al inicio de la sincronización	R	2	5	20.8	0.0331
	SyD	8	36	43.9	
Estatus de la ola de crecimiento folicular al retiro del DIP	R	3	8	21.1	0.0058
	SyD	6	31	47.7	

En cuanto al diámetro del folículo preovulatorio, los resultados muestran que a mayor diámetro de éste se incrementa la probabilidad de gestación a estro sincronizado (cuadro 3).

Cuadro 3. Impacto del diámetro del folículo preovulatorio (FPO) sobre la tasa de preñez por IATF.

	Estimación	Error estándar	Prob > Chi cuadrada
Intercepción	-1.8	0.64	0.0054
Diámetro FPO	0.16	0.07	0.0305

Discusión

En el presente experimento, el uso de BST incrementó el diámetro de los folículos preovulatorios. Este resultado es similar a lo reportado por Kaminski *et al.* (2019) quienes muestran que el uso de BST incrementa el diámetro del FPO alrededor de 2 mm. Así mismo, otros autores han reportado que el uso de BST al inicio del celo mejora el desarrollo del cuerpo lúteo, incrementando a su vez la producción de progesterona (Lozano-Dominguez, *et al.*, 2020). Es bien sabido que la BST al actuar en el hígado promueve la secreción de IGF-I y que éste puede actuar a nivel ovárico para promover el desarrollo y la supervivencia de las células foliculares, la maduración final del ovocito y la esteroidogénesis (Rosales-Torres, *et al.*, 2012; Lozano-Domínguez, *et al.*, 2020). Por lo tanto, es probable que en este experimento el uso de

BST haya incrementado la secreción de IGF-I desde el hígado y éste a su vez haya actuado en el ovario para promover el desarrollo del FPO.

Salgado *et al.* (2023) mencionan que varios estudios han mostrado que un aumento en el diámetro del FPO incrementa la probabilidad de preñez por IATF, siendo ésta mayor cuando el FPO tiene un tamaño entre 11.1 mm y 14.4 mm. Esto a su vez concuerda con lo reportado por Yáñez-Avalos, *et al.*, (2018), donde las vacas con mayor desarrollo folicular al momento de la IATF tuvieron 14 veces más posibilidad de quedar preñadas. En el presente experimento a pesar de que la tasa de preñez por IATF no difirió estadísticamente entre tratamientos, se observó que la tasa de preñez por IATF en el grupo BST fue de 45.3% mientras que en el grupo control fue de solo 32.7% con un valor de $P=0.1270$. Por lo anterior es probable que con mayor número de observaciones se pudo haber mostrado efecto de BST sobre la tasa de preñez por IATF. Esta hipótesis se sustenta por el hecho de que el tamaño del FPO es importante porque influye directamente en la tasa de ovulación, el tamaño del cuerpo lúteo, las concentraciones de progesterona durante la preñez y la tasa de gestación y se ha reportado que el folículo obtiene una completa capacidad ovulatoria cuando alcanza los 10 mm de diámetro en ganado *Bos indicus* (Espinoza-Villavicencio, *et al.*, 2021). Por lo anterior es importante implementar técnicas que promuevan el máximo desarrollo del FPO, junto con los protocolos de IATF.

En cuanto a presencia de CL, las hembras que lo presentaron al inicio del protocolo de sincronización tuvieron mayor porcentaje de gestación respecto a las que no tenían CL. Este resultado es similar al obtenido por Muth-Spurlock, *et al.* (2017), donde, las vacas que estaban ciclando antes de la sincronización presentaron mayor tasa de preñez que las hembras que no estaban ciclando.

De acuerdo a los resultados de este experimento, la etapa de la ola de crecimiento folicular en que se encuentren los animales durante la sincronización tiene un impacto importante en la tasa de preñez por IATF. Según lo reportado por Sartory & Barros (2011), en ganado *Bos Indicus* la selección del folículo dominante ocurre entre 2.3 y 2.8 días post ovulación, cuando el folículo de mayor tamaño mide alrededor de 5.9 mm, por lo tanto en este experimento se consideró que los folículos con un diámetro mayor a 6 mm se

encontraban en etapa de selección y dominancia y los de diámetro igual o menor a 6 mm estaban en etapa de reclutamiento. Animales con folículos en etapa de selección y dominancia al aplicar o retirar el DIP tuvieron mayor tasa de preñez por IATF que los animales que tenían folículos en etapa de reclutamiento. Esto puede estar asociado a que el BE aplicado en el día cero, promueve de una manera más efectiva la atresia folicular cuando hay un folículo dominante lo cual incrementa la probabilidad de que se inicie una nueva oleada folicular. Por otro lado, la presencia de un FD al retirar el DIP, podría ser un indicativo de que se sincronizó adecuadamente la ola folicular. De esta manera, en ambos casos se podría garantizar la presencia de un folículo dominante funcional que ovule con la aplicación de GnRH al momento de la IA (Muth-Spurlock, *et al.*, 2017) incrementando así la tasa de preñez por IATF.

Conclusión

En conclusión, nuestros resultados muestran que la BST incrementa el diámetro del FPO, pero no modifica la tasa de preñez por IATF. Además, un incremento en el diámetro del FPO, animales ciclando y la presencia de un folículo dominante al aplicar o retirar el DIP incrementan las probabilidades de preñez por IATF.

Recomendaciones

Los datos obtenidos en esta investigación sugieren que el valor de “n” pudo no ser suficiente para detectar diferencias significativas por lo que se recomienda repetir el experimento con un mayor número de animales tratados para validar si efectivamente la BST no modifica la tasa de preñez por IATF.

Agradecimientos y fuente financiadora

Este proyecto fue financiado por las Convocatorias para el Desarrollo Académico 2022 en la categoría de Fortalecimiento de la Investigación convocada por el rector de UAMX, así como por el financiamiento otorgado por el proyecto 34402080 de la división de CBS de la UAM-X.

Referencias

- Alcalá-Galvan, C., Barraza-Guardado, R., & Ayala, F. (2018). Uso sustentable de agostaderos y el sistema vaca-cría en el Noroeste de México. *Agronomía mesoamericana*, 29(2), 433-477.
- Bautista- Martinez, Y., Granados-Zurita, L., Joaquín-Cansino, S., Ruiz-Albarran, M., Garay-Martinez, J., Infante-Rodriguez, F., & Granados, L. (2021). Factores que determinan la producción de becerros en el sistema vaca-cría del Estado de Tabasco México. *Nova Scientia*, 12(25).
- Bustillos, J., & Melo, J. (2020). Parámetros y eficiencia reproductivos en ganado bovino. Universidad cooperativa de Colombia.
- Bó, G., De la Mata, J., Baruselli, P., & Menchaca, A. (2016). Alternative programs for synchronizing and resynchronizing ovulation in beef cattle. *Theriogenology*. 86(1), 388-396.
- Espinoza-Villavicencio, J., *et al.*, 2021. Inseminación artificial a tiempo fijo y reinseminación de vacas para carne tratadas con y sin gonadotropina coriónica equina. *Nova Scientia*, 13(3): 1-20.
- Garcia, F., Rabaglino, M., & Torretta, M. (2017). Re-sincronización de celos utilizando progestágenos y benzoato de estradiol, en vacas de carne (*Bos Taurus*) con cría al pie, manejadas en sistemas pastoriles de regiones áridas. *Revista electronica de veterinaria*, 18 (10).
- González-Gómez, A., Sánchez-Dávila, F., Vásquez-Armijo, J., Del Bosque-González, A., Ledezma-Torres, R., & Bernal-Barragán, H. (2019). Respuesta ovulatoria y embrionaria a la somatotropina bovina recombinante en cabras superovuladas con FSHp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 115-120.
- Hernandez, J. (2016). *Fisiología clínica de la reproducción de bovinos lecheros*. (1a edición). México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Hernández-Cerón, J., & Gutierrez-Aguilar, C.G. (2013). La somatotropina bovina recombinante y la reproducción en bovinos, ovinos y caprinos. *Agrociencia*, 47(1), 35-45.
- Hernández-Coronado *et al.*, 2023. Sincronización del estro y ovulación en hembras bovinas de razas cárnicas. Bases endocrinas y protocolos usados. *Abanico Veterinario*. Enero-Diciembre 2023; 13:1-37.
- Horrach, M., Bertot, J., Vázquez, R., & Garay, M. (2020). Eficiencia reproductiva de sistemas vacunos en inseminación artificial. Tendencias actuales y perspectivas. *Revista de Producción Animal*, 32(3).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal. Ayototxco de Guerrero, Puebla.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal. San Rafael, Veracruz de Ignacio de la Llave.
- Kaminski, *et al.* 2019. Impact of recombinant bovine somatotropin, progesterone, and estradiol benzoate on ovarian follicular dynamics in *Bos taurus taurus* cows using a protocol for estrus and ovulation synchronization. *Theriogenology*. 125:331-334.
- Lenz, M., Ramírez, G., & Uribe, L. (2007). Papel del factor de crecimiento semejante a la insulina (IGF-1) en la regulación de la función ovárica. *Biosalud*, 6(1), 49-159.
- Lozano-Domínguez, R., Aréchiga-Flores, C., López-Carlos, M., Cortés-Vidauri, Z., Rincón-Delgado, M., Carrera-Chávez, J., Macías-Cruz, U., & Hernández-Cerón, J. (2020). Efecto del reemplazo folicular (GnRH) y de somatotropina bovina (bST) sobre la fertilidad de vacas lecheras expuestas a estrés calórico. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(3), 738-756.
- Mejía-Bautista, G., Magaña, J., Segura-Correa, J., Delgado, R., & Estrada-León, R. (2010). Comportamiento reproductivo y productivo de vacas *Bos indicus*, *Bos*

taurus y sus cruces en un sistema de producción vaca: cría en Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2), 289-30.

- Muth-Spurlock, A., *et al.* 2017. The effect of follicular wave on fertility characteristics in beef cattle. *Animal Science*. 95:866–874.
- Peralta, I., & Velázquez, P. (2013). Foliculogénesis: Camino hacia la sobrevivencia o la muerte. *Revista de educación bioquímica*, 32(4), 128-136.
- Rosales-Torres, *et al.* 2012. Follicular development in domestic ruminants. *Trop. Subtrop. Agroecosysts*, 15, 147-160.
- Ruiz, J., Uribe-Velásquez, L., & Osorio, J. (2011). Factor de crecimiento semejante a insulina tipo 1 (IGF-1) en la reproducción de la hembra bovina. *Veterinaria y Zootecnia*, 5(2), 68-81.
- Salgado, R., *et al.*, 2023. Comparación de protocolo CoSynch con y sin adición de progesterona y eCG sobre la tasa de preñez y el diámetro folicular en novillas *Bos indicus*. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 24(2), e2715
- Sartory, R. & Barros, C. 2011. Reproductive cycles in *Bos indicus* cattle. *Animal Reproductive Science* 124: 244-250.
- Taylor, V., Beever, D., Bryant, M., & Whates, D. (2004). First lactation ovarian function in dairy heifers in relation to prepubertal metabolic profiles. *Journal of Endocrinology*, 180(1), 63-75.
- Vargas, A., Osorio, C. A., Loaiza, J., Villa, N.A., & Ceballos, A. (2006). Efecto del uso de una somatotropina bovina recombinante (STbr) en vacas lecheras a pastoreo bajo condiciones tropicales. *Archivos de medicina veterinaria*, 38(1), 33-38.
- Vazquez-Loaiza, M., & Molina-Coto, R. (2021). Métodos de reproducción de cebuínos con registro genealógico en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 32(1), 19-33

- Vázquez López *et al.* 2021. Respuesta reproductiva en vacas y novillas productoras de carne tratadas con tres protocolos de sincronización de estro y ovulación. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria.
- Yáñez-Avalos, D., *et al.*, 2018. Inseminación artificial a tiempo fijo en vacas con proestro prolongado de 60 y 72 horas. *Agronomía mesoamericana*, 29(2): 363-373.