



TRABAJO DE GRADO

RELACIÓN ENTRE EL CONTEO DE FOLÍCULOS ANTRALES, CONDICIÓN CORPORAL Y EL PORCENTAJE DE PREÑEZ DESPUÉS DE LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL A TIEMPO FIJO EN HEMBRAS BOVINAS DE RAZA BRAHMAN

AUXILIAR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Erika Alejandra Hernández Rincón

Fredy Alejandro Mejía Bueno

Laura Marcela Abril Cristancho



ASESORES

DIEGO ARMANDO RIVEROS PINILLA

DIANA PATRICIA BARAJAS PARDO

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
FACULTAD MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
CAMPUS VILLAVICENCIO
JULIO DE 2021

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVO GENERAL	9
Objetivos específicos.....	9
Hipótesis general	10
REVISIÓN DE LITERATURA	10
La raza Brahman	10
La importancia de los indicadores productivos y reproductivos en el desarrollo de la ganadería.....	11
Fisiología reproductiva	11
Ciclo Estral	11
Estro	12
Fertilidad	12
Hormonas.....	13
Biotecnologías reproductivas	13
Inseminación artificial	14
Inseminación Artificial a Término Fijo.....	14
Condición Corporal.....	17
Conteo de folículos antrales y foliculogénesis	18
METODOLOGÍA.....	22

Localización.....	22
Conteo de folículos antrales, condición corporal y diseño experimental.....	22
Protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo y el diagnóstico de gestación.....	23
Análisis estadístico.....	24
RESULTADOS.....	25
Resultados de conteo de folículos antrales	30
Resultados de la relación con la edad, el toro, la raza, el mes de IATF y el Vetscore.	32
DISCUSIÓN.....	45
CONCLUSIÓN.....	50
AGRADECIMIENTOS	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la relación del conteo de folículos antrales y la condición corporal con el porcentaje de preñez de hembras bovinas de raza Brahman sometidas a un protocolo de sincronización de ovulación para inseminación artificial a tiempo fijo. Esta herramienta de biotecnología de la reproducción, fundamentada en los procesos de dinámica folicular y manipulación del ciclo estral, presenta grandes variaciones según el sistema de explotación, estado productivo, protocolo empleado, metabolismo hormonal, dinámica folicular, condiciones individuales, la raza, edad, y la condición corporal. A diferencia del *Bos taurus*, en las hembras Brahman, con mayor número de ondas foliculares en cada ciclo estral, y menor diámetro del folículo ovulatorio, no está clara la relación del conteo ecográfico de folículos antrales -CFA con la fertilidad. El estudio se desarrolló en el departamento del Meta, en 200 novillas Brahman de 32 a 42 meses de edad, sometidas a protocolo de IATF convencional, previo a una IA con semen comercial Brahman, 48 horas después de retirar el dispositivo. El CFA fue evaluado en ambos ovarios, por ultrasonido y relacionado con la condición corporal-CC individual, medida con el Vetscore. El análisis estadístico del tipo descriptivo, con software SPSS® 18.1.1, permitió evidenciar que el porcentaje de preñez en el ganado Brahman puede verse afectado ($P < 0.05$) por variabilidad del CFA y CC, pero a diferencia de otros estudios, las novillas con CC baja, presentaron porcentajes de preñez más altos que las que tenían CC óptima. Como conclusión, se define que el conteo de folículos antrales y la condición corporal influyen en el porcentaje de preñez y son fuentes importantes de variación, con el porcentaje más bajo las novillas obesas con bajo CFA y el porcentaje más alto las novillas delgadas con CFA intermedios.

Palabras clave: *ondas foliculares, reserva ovárica, ultrasonografía*

Abstract

The objective of this work was to evaluate the relationship of the antral follicle count and body condition with the pregnancy percentage of Brahman breed bovine females subjected to an ovulation synchronization protocol for artificial insemination at a fixed time. This reproductive biotechnology tool, based on the processes of follicular dynamics and manipulation of the estrous cycle, presents great variations according to the exploitation system, productive state, protocol used, hormonal metabolism, follicular dynamics, individual conditions, race, age, and body condition. Unlike *Bos taurus*, in Brahman females, with a greater number of follicular waves in each estrous cycle, and a smaller diameter of the ovulatory follicle, the relationship between the ultrasound count of antral follicles-CFA with fertility is not clear. The study was carried out in the department of Meta, in 200 Brahman heifers between 32 and 42 months of age, subjected to the conventional IATF protocol, prior to an AI with commercial Brahman semen, 48 hours after removing the device. The CFA was evaluated in both ovaries, by ultrasound and related to the individual body condition-CC, measured with the Vetscore. The statistical analysis of the descriptive type, with SPSS® 18.1.1 software, allowed to show that the percentage of pregnancy in Brahman cattle can be affected ($P < 0.05$) by variability of CFA and CC, but unlike other studies, heifers with low CC, they presented higher pregnancy percentages than those with optimal CC. As a conclusion, it is defined that the antral follicle count and the body condition influence the pregnancy percentage and are important sources of variation, with the lowest percentage being obese heifers with low CFA and the highest percentage being thin heifers with intermediate CFA.

Key words: follicular waves, ovarian reserve, ultrasonography

INTRODUCCIÓN

El sistema de producción bovino colombiano cuenta con un inventario de 28.245.262 cabezas de ganado distribuidos en 650.661 predios (Instituto Colombiano Agropecuario ICA, 2020), teniendo como base genética de esta población el *Bos indicus* y siendo la raza Brahman la de mayor representación, por haber absorbido la mayoría de las rezas, debido principalmente a su adaptabilidad y producción de proteína animal. Por esto se pretende aumentar la eficiencia reproductiva de la raza Brahman a partir de establecer herramientas predictivas para identificar hembras con alto potencial reproductivo, contribuyendo al desarrollo socioeconómico del sector ganadero y del país.

Estudios del comportamiento de las vacas *Bos indicus* en pastoreo, indican que permanecen con el ternero hasta el destete, por lo que durante este período el bloqueo hormonal sobre la reactivación ovárica es evidente. En contraste, una vez suprimido el estímulo visual del ternero, por el destete o por restricciones en el amamantamiento las vacas reinician la actividad ovárica y por ende la posibilidad de una nueva preñez. El anestro posparto, en sistemas de producción de cría y en menor cuantía en doble propósito, incrementan el intervalo parto concepción, disminuyendo la tasa de natalidad y los destetos por vaca al año, afectando la productividad del sistema.

En la búsqueda de aumentar la eficiencia de la ganadería como sistema de producción, la tecnología de asistencia reproductiva bovina como la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) es una herramienta importante para multiplicar el material genético de toros con superioridad reproductiva y productiva, mejorando los parámetros productivos de los sistemas de producción bovino (Greve y Callesen, 2003), superando la dificultad de la detección del celo. Sin embargo, el éxito de la IATF es altamente dependiente de las características fisiológicas individuales del

animal, tal como su estatus de condición corporal y su población de folículos antrales (PFA) del ovario (Burns et al., 2005; JJ Ireland et al., 2007; Pontes et al., 2011).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La inseminación artificial (IA) es una herramienta poderosa para el mejoramiento genético de la ganadería bovina en condiciones del trópico bajo colombiano, a pesar de esto, el porcentaje de vacas inseminadas en los países en desarrollo es bajo (R Sartori y Barros, 2011). El uso masivo de la IA en ganado de carne en sistemas de pastoreo es impráctico, por la laboriosa detección de los celos, lo cual se agrava con las características propias del comportamiento sexual del Cebú, asociadas con una menor duración e intensidad del celo (Gimenes et al., 2008).

Una alternativa importante para aumentar la proporción de vacas preñadas, en un corto período de tiempo posparto y disminuir el intervalo parto a la concepción es la aplicación de los protocolos de IATF en estas ganaderías. Esta biotecnología permite hacer inseminación artificial de un amplio número de vientres sin necesidad de la detección de las hembras en estro. Consiste en la manipulación del ciclo estral, mediante un tratamiento hormonal para reproducir las condiciones fisiológicas que permitan realizar la IA en un periodo de tiempo establecido. Con la IATF se logran establecer temporadas de servicios y partos, y se favorece el mejoramiento genético al usar semen de reproductores sobresalientes y razas especializadas en producción de carne o leche. El desarrollo de esta biotecnología se aplicó inicialmente en ganado *Bos taurus* pero progresivamente se ha venido utilizando en ganado *Bos indicus* (Garcia y López, 2013).

Los conocimientos sobre dinámica folicular han permitido desarrollar programas de IATF y contribuir al mejoramiento genético, la eficiencia productiva y reproductiva en los sistemas de producción bovino. Sin embargo, los resultados en tasas de preñez en ganado Cebú presentan

diferencias que oscilan desde el 21 % hasta un 55 % (Bo et al., 2007; Dorneles et al., 2013; Prada et al., 2013) dependiendo de factores como el estado productivo (Meneghetti y Vasconcelos, 2008) la condición corporal (CC) (Sá Filho et al., 2010) y la edad (Ribeiro et al., 2014). Debido a estos factores, se debe investigar en un programa de manejo reproductivo en vacas los protocolos óptimos bajo las condiciones propias de temperatura, humedad y nutrición específicas del ecosistema llanero.

En el ganado Brahman son evidentes tres a cuatro ondas foliculares por ciclo estral (Gimenes et al., 2008; R Sartori y Barros, 2011). mientras que en razas *Bos taurus*, hay una mayor incidencia de dos o tres ondas por ciclo estral (Uribe et al., 2011). El ganado *Bos indicus* también tiene más folículos antrales en cada onda folicular que las razas *Bos taurus* (García y López, 2013; Odde, 1990). Además, las hembras taurinas tienden a exhibir un mayor diámetro del folículo ovulatorio, un volumen medio del cuerpo lúteo y concentraciones séricas de hormonas esteroides como la progesterona y estrógenos que las *B. indicus* (Bicalho et al., 2008; Bo et al., 2007). Sin embargo, a pesar estas características, el CFA en *Bos taurus* el ganado parece tener una relación positiva bien establecida con fertilidad (Figueira et al., 2011; Sá Filho et al., 2010), pero esta relación aún no se comprende bien en *Bos indicus* (Meneghetti et al., 2009; Uribe-Velásquez et al., 2013).

El conteo de folículos antrales (CFA) se ha evaluado en muchos estudios, para describir su asociación con la fertilidad, el rendimiento reproductivo y la eficiencia biotecnológica en el ganado (Figueira et al., 2011; Meneghetti y Vasconcelos, 2008; Uribe-Velásquez et al., 2013). Por lo tanto, se ha observado un alto grado de reproducibilidad en el número de folículos antrales en el mismo individuo a través de sucesivas evaluaciones ecográficas (Bridges et al., 2008; Ireland et al., 2008; Ribeiro et al., 2014).

Sin embargo, existen variaciones en las poblaciones de folículos entre individuos de la misma subespecie (Villa et al., 2007) y los folículos pueden medirse y clasificarse como CFA bajo, intermedio o alto (Bridges et al., 2008; Prada et al., 2013). Además de las variaciones

individuales, las condiciones corporales y las condiciones sanitarias, un CFA alto está directamente relacionado con una alta tasa de preñez en vacas *Bos taurus* (Figueira et al., 2011; Sá Filho et al., 2010) No obstante, los resultados obtenidos con *Bos indicus* parecen ser contradictorios con respecto a esta correlación (Bridges et al., 2008; Meneghetti et al., 2009; Pugliesi et al., 2016) y lo mismo ocurre con el ganado *Bos taurus* (Meneghetti y Vasconcelos, 2008). Por lo tanto, este proyecto de investigación pretende describir la relación entre el CFA y la CC sobre el desempeño reproductivo del ganado Brahman después de realizar un proceso biotecnológico como la IATF.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la relación del conteo de folículos antrales y la condición corporal con el porcentaje de preñez de hembras bovinas de raza Brahman sometidas a un protocolo de sincronización de ovulación para inseminación artificial a tiempo fijo.

Objetivos específicos

- Evaluar la asociación del conteo de folículos antrales y el porcentaje de preñez de hembras bovinas de raza Brahman sometidas a un protocolo de sincronización de ovulación para IATF.
- Valorar la asociación de la condición corporal y el porcentaje de preñez de hembras bovinas de raza Brahman sometidas a un protocolo de sincronización de ovulación para IATF.
- Determinar criterios de selección a través de la evaluación reproductiva de vientres que ingresan a un protocolo de IATF.

Hipótesis general

Las hembras bovinas de razas Brahman con alta reserva ovárica y alta condición corporal presentan entre ellas altos porcentajes de preñez a partir de la biotecnología de IATF, en contraste con las hembras bovinas de raza Brahman que presentan baja reserva ovárica y baja condición presentan entre ellas bajos porcentajes de preñez a partir de la biotecnología de IATF.

REVISIÓN DE LITERATURA

La raza Brahman

Es originaria del estado de Texas, Estados Unidos, y es el resultado del cruce de razas como Nelore, Guzerat, Red Sindi (*Bos indicus*) sobre Hereford (*Bos taurus*). Esta raza llegó a Colombia en la primera década del siglo XX, importada por ganaderos que vieron en la misma un potencial para mejorar el rendimiento de las razas criollas, predominantes en ese momento en el país. La producción de carne bovina en Colombia es del tipo extensivo y tiene como base principalmente a la raza *Bos indicus* y los cruces de *Bos indicus* x *Bos taurus* (Vergara et al., 2009). En la actualidad la raza Brahman constituye el 95% del inventario nacional del ganado Cebú (Instituto Colombiano Agropecuario ICA, 2020), siendo la más numerosa del país, con buenos parámetros de producción, además de ser una de las más adaptadas a las condiciones climáticas y nutricionales que se hallan en diferentes regiones del país y de su resistencia a los ectoparásitos.

La raza Brahman es considerada ideal para la producción de carne en países de excelentes condiciones tropicales y es utilizado como una opción válida para la producción de

leche, en especial en sistemas de doble propósito al cruzarlo con ciertas razas especializadas. En cuanto a su expansión genética, ha sido totalmente exitosa, no solo ha beneficiado a los criadores ganado de puro, sino que además, los ganaderos han recibido el beneficio directo al implementar programas de cruzamiento con la raza, con lo cual se han logrado nuevos estándares de calidad y rentabilidad (Pareja, 2002).

La importancia de los indicadores productivos y reproductivos en el desarrollo de la ganadería

La reproducción en la industria de ganadería bovina es el eje de esta actividad productiva, ya que la eficiencia en la producción de crías permite cubrir las demandas comerciales al favorecer la obtención de animales especializados para la lechería, a través de la generación de hembras de alta capacidad y calidad productiva, o como en la industria de la carne con la disponibilidad de ejemplares, no solo cada vez mejores en la producción, sino también en la búsqueda de una mayor población bovina para una población humana creciente “seguridad alimentaria”. La reproducción es un vehículo para el mejoramiento genético, representado en las últimas décadas principalmente por programas de selección e importación de genética superior desde países desarrollados hacia los denominados países en desarrollo. Los sistemas tradicionales de mejoramiento genético, aunque exitosos en todo el mundo, se han visto limitados en su progreso por aspectos biológicos propios de la especie bovina, principalmente respecto a su capacidad reproductiva dentro de su vida útil dentro de los hatos.

Fisiología reproductiva

Ciclo Estral

El ciclo estral en bovinos se puede definir como el ciclo biológico reproductivo de las hembras, representa el patrón cíclico de la actividad ovárica, comprendido entre un período reproductivo caracterizado por la no receptividad a un estado de receptividad, que en última instancia permite el apareamiento y el posterior establecimiento de la preñez (Salinas y Matamoros, 2017). La dinámica folicular en la hembra bovina es desencadenante de los procesos reproductivos y de las fases del ciclo estral, estos eventos están regulados por un complejo conjunto de factores que se interrelacionan y permiten que se presente la ovulación como punto final del ciclo estral y punto inicial en la vida reproductiva de la hembra bovina. Siendo de gran importancia la influencia de las hormonas sexuales que se encuentran reguladas por el sistema neuroendocrino del eje hipotálamo-hipófisis-ovarios-útero (Motta et al., 2011).

Estro

El estro se puede definir como el periodo en que las hembras son receptivamente sexualmente, es decir el momento en que aceptan al macho (Colazo y Mapletoft, 2014). La sincronización de los celos implica lograr que se presenten simultáneamente el comportamiento del estro en un lote de vacas que están en un programa de inseminación artificial a término fijo (IATF).

Fertilidad

Se relaciona a la posibilidad relativa que una vaca tiene para gestar una cría viva y a términos con número de servicio determinado. La eficiencia reproductiva se puede describir como la medida de la capacidad de una vaca para quedar preñada y producir descendencia viable; mientras la infertilidad o la subfertilidad son grados variables de aberración de los niveles típicos de rendimiento reproductivo. La fertilidad generalmente se evalúa a nivel económico por el intervalo entre partos, es decir, el período de tiempo entre partos sucesivos (Ball y Peters, 2008).

Hormonas

Son sustancias o mensajeros químicos producidos por una glándula endocrina o tejido endocrino, que pasa al torrente sanguíneo para su transporte, con el objeto de ejercer acciones reguladoras o inhibitoras. Las hormonas que controlan procesos o acciones en la reproducción se derivan de ciertas áreas del hipotálamo, hipófisis, gónadas, placentas y útero. Los bovinos son animales poliéstricos con ciclos estrales cada 21 días (rango 17-24 días) en promedio. El ciclo estral está regulado por las hormonas del hipotálamo (hormona liberadora de gonadotropina, GnRH), la pituitaria anterior (hormona folículo estimulante, FSH y hormona luteinizante, LH), los ovarios (progesterona, P4; estradiol, E2 e inhibinas) y el útero (prostaglandina F2 α , PGF) (Colazo y Mapletoft, 2014).

La secreción de gonadotropinas en la hembra ocurre en forma constante o “tónica” bajo el control de retroalimentación negativa del ovario, los patrones de secreción están sujetos a fluctuaciones dramáticas dependiendo de la fase del ciclo (secreción “cíclica”) (Salinas y Matamoros, 2017).

Biotecnologías reproductivas

La biotecnología aplicada a la reproducción bovina se puede definir como cualquier aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos, organismos vivos o sus derivados con el fin de modificar productos o procesos para un uso específico.

La biotecnología de la reproducción comprende las técnicas, desde la inseminación artificial (IA) hasta la clonación, o conjunto de ellas que permiten aumentar la eficiencia reproductiva de los animales (Palma y Brem, 2001). Los periodos abiertos extensos y otros parámetros reproductivos, el mejoramiento genético y la producción de mejores crías son factores que nos sensibilizan a utilizar las biotecnologías aplicadas en bovinos. La incorporación de las técnicas de inseminación artificial y transferencia embrionaria (en ambos casos a tiempo fijo) y la aplicación de herramientas de sincronización y resincronización de celos, han demostrado ser

capaces de incrementar la productividad y rentabilidad de las explotaciones ganaderas. Además, el empleo de semen y embriones de alta calidad involucra el avance genético en los sistemas de producción (Baruselli et al., 2015).

Inseminación artificial

La inseminación artificial (IA) es una técnica que consiste en la deposición de semen por vía instrumental en el útero de una hembra antes de que ocurra la ovulación, más específicamente, se debe introducir la mano en el recto de la hembra para poder fijar el cuello uterino y con la otra mano manipular una pipeta, introducida para atravesar el canal cervical y depositar el semen en el cuerpo del útero (Palma y Brem, 2001).

La práctica de IA, es manejada directamente con la detección del celo y con el sistema AM-PM y PM-AM, las vacas que sean vistas en estro en la mañana, deben ser inseminadas durante la tarde del mismo día, y las vacas vistas en celo en la tarde, deben ser inseminadas después del amanecer del siguiente día lo cual no determina con exactitud el tiempo de la ovulación ya que se pueden presentar variaciones en el ciclo estral de cada hembra, el ambiente y el manejo. La técnica de la IA, se ha ido mejorando en el tiempo, a través del método IATF (Marizancén y Artunduaga, 2017).

Inseminación Artificial a Término Fijo

Es una biotecnología que, utilizando hormonas, sincroniza el celo y la ovulación en las vacas, de manera tal que logra que todas las hembras tratadas ovulen para ser inseminadas sin detectar celo entre las 48 y 52 horas de haber finalizado el tratamiento, obteniendo resultados de mejoramiento genético. Después de un procedimiento de IATF, aproximadamente del 40 al 60% de las hembras quedan preñadas. Este resultado puede variar dependiendo de factores como el protocolo hormonal empleado, la puntuación de la condición corporal, el estado de los ovarios, el manejo de la granja y aspectos relacionados con la calidad del semen. (Marques et al., 2018).

La inseminación artificial (IA) es el método más útil de mejora genética en el ganado, actualmente existen básicamente dos tipos de protocolos de IATF utilizados en ganado de carne; los protocolos a base de GnRH y los protocolos a base de estradiol, los cuales se combinan con dispositivos de liberación de progesterona (P4) y prostaglandina F2 α (PGF2 α). Siendo los protocolos basados en estradiol / P4 los más comúnmente utilizados en el ganado de carne de América del Sur, debido a la disponibilidad de estradiol y a su alta eficacia tanto en novillas como en vacas en anestro posparto; además por su costo relativamente bajo (Bó et al., 2018).

Uno de los elementos que supone una clara ventaja al utilizar la IATF es la posibilidad de concentrar las pariciones; en condiciones ideales, una proporción grande de las hembras quedan preñadas el primer día de la estación reproductiva. Esto resulta en un aumento de peso de los terneros al destete de los vientres sometidos a esta técnica, ya que al momento del destete tendrán más días de nacidos y, por consiguiente, mayor peso (Bo et al., 2007; Lamb et al., 2010) A consecuencia de esto se lograrán estaciones reproductivas más cortas con terneras más parejas y pesadas al destete, que llevan a mejorar la eficiencia de transformación de pasto en terneros en el caso de la cría, y a mejores índices reproductivos (De Nava, 2015). Según un ensayo llevado a cabo por de (De Nava et al., 2008) las vacas con cría al pie sometidas a IATF al inicio de la estación reproductiva destetaron posteriormente terneros que fueron 18,4 kg más pesados que los terneros del otro grupo, cuyas madres habían sido sometidas al manejo tradicional del establecimiento (monta natural), y 8 kg más pesados que sus congéneres, cuyas madres fueron sincronizadas pero sometidas a monta natural.

Los primeros protocolos de IATF se basaron en el uso de prostaglandina F2 α (PGF2 α) y la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) que fue conocido como Ovsynch, que consiste en la sincronización del ciclo estral y la ovulación (Odde, 1990) posteriormente surgieron una serie de variantes con la inclusión de un dispositivo de liberación lenta de progesterona.

También se utiliza la combinación de progesterona por 7 a 8 días como implante en la oreja o dispositivo intravaginal (DIV) y la aplicación de estradiol junto con la progesterona para

iniciar el desarrollo de una onda folicular y al final del protocolo para inducir la ovulación (Bicalho et al., 2008). Este protocolo es el más utilizado en sistemas de producción de cría en América Latina (Bo et al., 2007; Figueira et al., 2011) y permite inseminar de manera simultánea un grupo de hembras sin necesidad de detectar el celo entre las 52 a 56 h después de retirar el DIV.

En general los protocolos de IATF más usados en hembras Cebú se basan en la aplicación al inicio del proceso (día 0) de un DIV y benzoato de estradiol (BE), y al final (día 7 u 8), la aplicación de PGF2 α y un estrógeno como el cipionato (CPE) o el valerato (VE) para sincronizar la ovulación. Adicional a esto, se ha incorporado al sistema la aplicación de gonadotropina coriónica equina (eCG) para mejorar el crecimiento de los folículos en vacas en posparto (Bo et al., 2007; Sá Filho et al., 2010).

El metabolismo de la progesterona entre animales *Bos indicus* y *Bos taurus* es diferente, debido, posiblemente, a la menor tasa en el metabolismo hepático que presentan las hembras *Bos indicus*, las cuales mantienen mayores concentraciones séricas de progesterona durante los protocolos IATF, situación que podría comprometer los procesos de la ovulación (Meneghetti et al., 2009). Por lo tanto, es posible que las hembras bovinas cebú necesiten empezar a reducir las concentraciones de progesterona exógena y la del cuerpo lúteo presente, con anterioridad al retiro del implante. La primera estrategia para disminuir estas concentraciones de progesterona en los protocolos de IATF en las hembras cebú, ha consistido en utilizar dispositivos que contengan menor cantidad de progesterona, los cuales buscan disminuir en menor tiempo las concentraciones séricas, lo que puede representar un incremento en las tasas de ovulación y preñez en las hembras bovinas (Uribe-Velásquez et al., 2013). La segunda estrategia es el uso de la PGF2 α al momento de retirar el implante para reducir la concentración sérica de progesterona por su actividad autolítica (Bicalho et al., 2008).

Otro programa de sincronización es el Co-Synch, cuando las vacas son inseminadas al mismo tiempo en que reciben la segunda inyección de GnRH; surgiendo con base a esto el protocolo Cosynch-5 + DIV propuesto por (Bridges et al., 2008), viéndose como una estrategia

para no utilizar estrógenos y así evitar impactos negativos sobre la salud pública y obtener con este protocolo porcentajes de preñez superiores al 50% (Bridges et al., 2008). El Cosynch-5 + DIV disminuye el tiempo que el folículo dominante está bajo la influencia de la progesterona circulante, lo que podría aumentar la esteroidogénesis del folículo y, por lo tanto, la preñez por IA. Los folículos más jóvenes tienen más capacidad esteroidogénica en comparación con los folículos más antiguos. Además, este sistema permite un proestro más largo. Por ejemplo, (Bridges et al., 2008) utilizaron un sistema corto (P4 durante 5 días), un aumento en 12 horas entre la luteólisis (PGF2 α tratamiento y eliminación de P4) se logró un incremento de la tasa de preñez por inseminación en 15 puntos porcentuales en comparación con un sistema más largo (P4 Durante 7 días).

Los conocimientos sobre dinámica folicular han permitido desarrollar programas de IATF y contribuir al mejoramiento genético, la eficiencia productiva y reproductiva en los sistemas de producción bovino. Sin embargo, los resultados en tasas de preñez en ganado Cebú presentan diferencias que oscilan desde el 21 % hasta un 55% (Bo et al., 2007; Dorneles et al., 2013; Prada et al., 2013), dependiendo de factores como el estado productivo (Meneghetti y Vasconcelos, 2008), la condición corporal (Sá Filho et al., 2010) y la edad (Ribeiro et al., 2014). Debido a estos factores, se debe investigar en un programa de manejo reproductivo en vacas los protocolos óptimos bajo las condiciones propias de temperatura, humedad y nutrición específicas del ecosistema llanero.

Condición Corporal

La condición corporal se asimila al de estado corporal, es decir, al nivel de reservas corporales que el animal dispone para cubrir los requerimientos de mantenimiento y producción, indicando el estado nutricional y de salud del animal. El sistema que clasifica a la vaca según su apreciación visual y de palpación manual de sus niveles de reservas (grasa), actúa como indicador de peso vivo del animal y sirve como una herramienta de evaluación para los animales

aptos para entrar en un programa de mejoramiento genético (Silva, 2015). Los protocolos de sincronización del estro y de la ovulación pueden ayudar a superar los efectos negativos de una baja CC sobre la reproducción y así mismo reactivar la función ovárica. (Medeiros et al., 2004) en Brasil, demostraron que la sincronización con dispositivo intravaginal, benzoato de estradiol, gonadotropina coriónica equina y GnRH puede inducir el estro y la ovulación de manera satisfactoria en vacas Angus x Nelore con una CC mayor de 2,5 (escala de 1 a 5) en donde 1 se caracteriza por ser un animal demasiado delgado o caquéxico y 5 por ser un animal obeso o gordo. En ambos rangos la fertilidad es nula o limitada ya que su sistema reproductivo y endocrino no está apto para manejar el ciclo estral, atender una gestación y/o mantener un nivel de producción adecuado (Marizancén y Artunduaga, 2017).

Conteo de folículos antrales y foliculogénesis

El tamaño de la reserva ovárica se puede predecir por ultrasonografía y se conoce como conteo de folículos antrales (CFA) (Berrutti y Rodriguez, 2018; Colque, 2019) El CFA tiene una asociación positiva con la fertilidad (Berdugo, 2020; J Ireland et al., 2008; Motta et al., 2011). Hay evidencia que sugiere que existe una asociación favorable entre el conteo folicular y la fecha de parto en novillas (Cunha et al., 2016; Cushman et al., 2014). Adicionalmente, algunos autores sugieren que el número total de folículos en los ovarios podría alterar la respuesta a protocolos de sincronización hormonal reportaron una tendencia en vacas con bajo CFA de tener un aumentado número de servicios pre concepción y bajos índices de preñez en sistemas de producción estacionales (Mossa et al., 2012).

Los folículos primordiales inician su crecimiento y diferenciación en un proceso aparentemente continuo pero irreversible que es conocido como foliculogénesis. Cuando un folículo primordial entra al grupo de crecimiento, este será conducido a uno de dos hechos: la degeneración por atresia (sufrida por el 99% o más) o la ovulación alcanzada por muy pocos. El intervalo requerido para la activación de un folículo primordial hasta su ovulación ha sido estimado

en 180 días. Cuando la capa de células de la granulosa se transforma de aplanadas a cuboidales y la teca interna comienza su diferenciación, al folículo en desarrollo se le denomina folículo primario. Su crecimiento al siguiente estadio, que es el de folículo secundario, se completa por la proliferación de las células de la granulosa. Los folículos en estos dos estadios se describen colectivamente como preantrales. La formación de la cavidad del folículo que forma el antro líquido es el siguiente estadio en su desarrollo (Scaramuzzi et al., 2011). Los folículos antrales existen en el ovario bovino con diámetros comprendidos en el rango de 0.1 a 20 mm. Generalmente se acepta que la formación del antro es un evento influenciado por las gonadotropinas y que la FSH es la principal hormona responsable. La ultrasonografía proporcionó la evidencia definitiva de que esta última fase del desarrollo folicular se produce en forma de ondas a lo largo de todo el ciclo estral. (Scaramuzzi et al., 2011).

Una onda de desarrollo folicular se puede definir como el desarrollo armónico y simultáneo de varios folículos antrales pequeños, en promedio 24 por onda con un rango de 8 a 41, funcionando a través de estadios integrados de reclutamiento, selección y dominancia folicular. El reclutamiento es un proceso por el que, bajo la responsabilidad de la FSH, un conjunto de folículos antrales tempranos (2-3 mm de diámetro) comienzan a crecer en un medio con suficiente soporte gonadotrófico que les permita progresar a la ovulación. La selección es un proceso por el cual un único folículo evade la atresia y adquiere competencia para alcanzar la ovulación. La dominancia es el medio por el cual el folículo seleccionado inhibe el reclutamiento de una nueva serie de folículos. El reclutamiento no ha recibido la misma atención investigativa como la dominancia folicular y la ovulación. Grupos, más que folículos aislados, son reclutados y este proceso se relaciona con cambios medibles de la FSH circulante. Factores intraováricos estimulados por la FSH están involucrados en el proceso de reclutamiento folicular y los IGF (Factores de crecimiento ligados a la insulina) y sus proteínas de enlace (IGFBP) han sido implicados en la amplificación de la acción de la FSH. (Monniaux et al., 2012).

El mecanismo de la dominancia no ha sido totalmente determinado y se hipotetiza que éste está asociado con un efecto inhibitorio parácrino del folículo dominante sobre los folículos subordinados del mismo grupo en desarrollo. Mecanismos de esta suerte no podrían ser involucrados en la vaca u otras especies monoovulares donde el folículo dominante está presente en un ovario y se produce inhibición de los folículos subordinados del ovario contra lateral (Scaramuzzi et al., 2011). Es por consiguiente más aceptado que la dominancia se produce por medio de algún factor que tiene un efecto de retroalimentación negativa sobre la secreción de gonadotropinas. Entre los candidatos se encuentra la inhibina, que es producida primariamente por las células de la granulosa y reduce directamente la secreción hipofisaria de FSH. Un segundo candidato, la folistatina, proteína que tiene alta afinidad de unión por la activina, proteína esta última que eleva la secreción de FSH. Por su unión a la activina, la folistatina reduce la secreción de FSH (Gigli et al., 2006).

El desarrollo del folículo dominante hasta las dimensiones preovulatorias depende estrictamente de las gonadotropinas. Los folículos antrales adquieren los receptores para LH en la teca y para FSH en la granulosa. Bajo la influencia de la LH las células de la teca sintetizan andrógenos que cruzan la lámina basal al interior del compartimiento de las células de la granulosa. Bajo la influencia de la FSH, estos andrógenos son aromatizados en estrógenos (Ireland et al., 2011).

El cambio clave que asienta durante el desarrollo de la competencia ovulatoria de un folículo es la adquisición de receptores para LH por las células de la granulosa. En los folículos donde esto se ha realizado, la LH actúa induciendo la síntesis de grandes cantidades de estrógenos en sinergia con la FSH. Este proceso es un autorefuerzo en el que los estrógenos inducen la formación de más receptores de LH y ésta y la FSH producen una nueva secreción de estrógenos. Los folículos bovinos que se vuelven dominantes o estrógenos activos producen muchos más estrógenos que los subordinados y tienen considerablemente mayor número de receptores tanto de LH como de FSH. Producto de un incremento en el número de receptores de

FSH, el folículo dominante puede ser capaz de seguir creciendo aún en un medio con bajas concentraciones plasmáticas de FSH, mientras que los folículos subordinados sucumben con estos bajos niveles (Ireland et al., 2011).

Mediante ultrasonografía se puede observar a los dos días de detectarse una onda, existe un folículo (folículo dominante) que crece más rápidamente que los demás (folículos subordinados). A los 6-7 días del comienzo de la onda el folículo dominante ha alcanzado prácticamente su máximo tamaño (15-17 mm) y los folículos subordinados han sufrido un proceso de atresia. En este momento, el folículo dominante puede ovular o de lo contrario entra en una fase estacionaria, que dura aproximadamente otros 6 días y en la que mantiene su tamaño y capacidad ovulatoria. Si no se ha producido la ovulación de este folículo, comienza un proceso de atresia y otros 9 días más tarde su tamaño ya ha descendido por debajo de los 4 mm. En un ciclo sexual fisiológico, el factor fundamental que determina el destino del folículo dominante (ovulación o atresia) es el nivel de progesterona cuando este folículo finaliza su fase de crecimiento. De esta manera, cuando los niveles de progesterona son elevados (fase luteínica del ciclo) se produce la regresión del folículo dominante, mientras que, en la fase folicular del ciclo, sin el "freno" de la progesterona, el destino del folículo dominante es la ovulación. A lo largo del ciclo estral, típicamente se producen 2 o 3 ondas de desarrollo folicular. En novillas y durante el post parto precoz de vacas multíparas parecen más frecuentes los ciclos ováricos con 2 ondas, mientras que vacas adultas presentan habitualmente ciclos de 3 ondas (Scaramuzzi et al., 2011) Todavía no existen datos estadísticos suficientes sobre la frecuencia relativa de ciclos de 2 o 3 ondas referida a cada población bovina o estado productivo de los animales. De todas maneras, esta diferencia viene condicionada por la duración del cuerpo lúteo de ciclo, lógicamente menor en ciclo de 2 ondas que en ciclos de 3 ondas. También se han detectado ciclos con 4 ondas foliculares y en estos casos la duración del ciclo ha sido de 24 días, ocurriendo la luteólisis en torno al día 20 - 21 del ciclo. Así, el principal factor que condiciona la duración del ciclo y por lo

tanto la existencia de 2 o 3 ondas por ciclo, parece ser la vida del cuerpo lúteo (Morotti et al., 2014).

METODOLOGÍA

Localización

El presente estudio se desarrolló en un sistema de producción bovino de cría de Brahman comercial, predio denominado La Carola, ubicado en la vereda Arenales del municipio de Castilla La Nueva, Meta, Colombia (latitud 3°74'79" norte, longitud 73°44'36.80" oeste), altitud de 397 msnm, temperatura y humedad relativa media anual de 27°C y 75% respectivamente y precipitación pluviométrica anual de 2935 mm.

Se utilizaron 200 novillas Brahman (*Bos indicus*), con edades comprendidas entre 32 y 42 meses, pertenecientes al predio La Carola, estas se mantuvieron en buen estado de salud y alimentadas en pastoreo rotacional con pasturas de *Brachiaria dictyoneura*, *Brachiaria humidicola*, sal mineralizada y agua a voluntad.

Todas las hembras fueron sometidas a un protocolo de IATF convencional que comenzó en un día aleatorio del ciclo estral, denominado Día 0 (D0).

Conteo de folículos antrales, condición corporal y diseño experimental

El CFA de cada hembra se evaluó al inicio del protocolo de IATF por ultrasonido con un transductor lineal transrectal de 5 MHz (Mindray DP-50 vet; Mindray Biomedical electronics LTD, Shenzhen, China). Ambos ovarios fueron evaluados para determinar el número total de folículos antrales (folículos con diámetros de 3 mm) se evaluó cada superficie del ovario desde la extremidad hacia el pedículo para determinar con mayor precisión el número de folículos antrales. El mismo día de la evaluación del CFA y por el mismo Médico Veterinario y Zootecnista, cada

animal fue clasificado según su condición corporal en una escala de 1 a 5 y el uso de un Vetscore (Lowman y Scott, 1976) y sólo las hembras con puntuaciones entre 2 y 4 fueron seleccionadas. Las instalaciones fueron las adecuadas para el manejo de los animales incluyendo potreros, saladeros, corral y brete.

Protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo y el diagnóstico de gestación

El protocolo de IATF se inició en un día aleatorio del estro ciclo (D0) insertando un dispositivo intravaginales de 0.5 g de progesterona (P4) natural (DIB 0.5, Syntex S.A., Buenos Aires, Argentina) y se aplicó 2 mg de benzoato de estradiol, im (Estradiol®, Laboratorios Over, Santa Fé, Argentina) al tiempo de insertar el dispositivo. En el momento del retiro del dispositivo (d8) se aplicó 0.15 mg de Cloprostenol intramuscular (Prostal®, Laboratorios Over, Santa Fé, Argentina) y 1 mg de cipionato de estradiol (Cipiosyn, Syntex S.A., Buenos Aires, Argentina), la inseminación la realizo un Médico Veterinario y Zootecnistas entrenado en IA y se utilizó semen comercial de dos toros de raza Brahman (Tanque trueno, Brahman rojo y Comandante, Brahman blanco) con fertilidad probada, la IA se realizó 48 horas después de retirar el dispositivo de P4, como se muestra en la Figura 1.

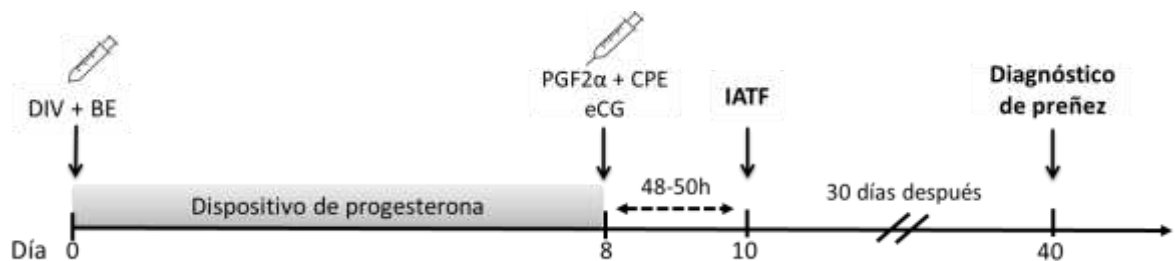


Figura 1. Protocolo de IATF basado en progestágenos y estradioles. DIV: Dispositivo Intravaginal con 0.5 de Progesterona, BE: Benzoato de Estradiol, PGF2 α : Prostaglandina F2 alfa, CPE: Cipionato de Estradiol, eCG: Gonadotropina Coriónica Equina, IATF: Inseminación Artificial a Tiempo Fijo.

Fuente: *Autores (2021)*

El diagnóstico de gestación de las novillas se determinó por vía transrectal examen de ultrasonido después de 40 días de la IATF, y fue confirmada la gestación visualizando la vesícula embrionaria que contiene un embrión (con latidos del corazón).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, los grupos se establecieron a partir de la media (M) y desviación estándar (SD) extraídos del total población de folículos antrales de las 200 novillas en este estudio. El CFA y la CC se analizó utilizando el modelo lineal generalizado (GLM), incluidas todas las variables y posibles interacciones. Estos valores se presentan como media y estándar desviación ($M \pm DE$). Variables categóricas nominales (por ejemplo, el porcentaje preñez con los grupos de CFA, edad y la CC) se analizaron con un modelo binario de regresión logística y Chi cuadrado.

Se realizaron todos los análisis estadísticos utilizando el software estadístico Epidat 4.1, adoptando $P < 0.05$ para indicar efectos significativos de las variables categóricas y sus interacciones.

RESULTADOS

En este estudio utilizándose un protocolo convencional en novillas Brahman el porcentaje de preñez fue del (44.0%; 88/200), teniendo en cuenta que estos porcentajes se obtuvieron en una sola inseminación por novilla.

Se realizó una estadística descriptiva general de las variables numéricas; edad en meses y población de folículos antrales, con el fin de evaluar la relación entre las variables.

Tabla 1. *Estadística descriptiva para la variable edad*

Novillas Edad en meses		Valor
Número de determinaciones		200
Media		36,7
Intervalo de confianza 95% para la media- IC	Límite inferior	36,0
	Límite superior	37,3
Varianza		23,373
Desviación estándar (DE)		4,835
Error estándar de la media		0,342
Mínimo		24,0
Percentil 5		30,0
Cuartil 25		35,0

Mediana	36,0
Cuartil 75	36,0
Percentil 95	48,0
Máximo	48,0
Rango	24,0
Distancia intercuartílica	1,0
Asimetría	1,040
Curtosis	1,145
Coeficiente de variación (DE/media) *100 %	13,2

De 102/200 datos, el (51%) presentaron una edad de 36 meses, lo cual presenta que media, moda y mediana sean muy similares, aunque la distribución no es normal, por estar muy apuntalada, sin embargo, esta variable se puede trabajar con estadística paramétrica. El 5% de las novillas presentó una edad ≤ 30 meses y una proporción igual edad ≥ 48 meses como se observa en la Figura 2.

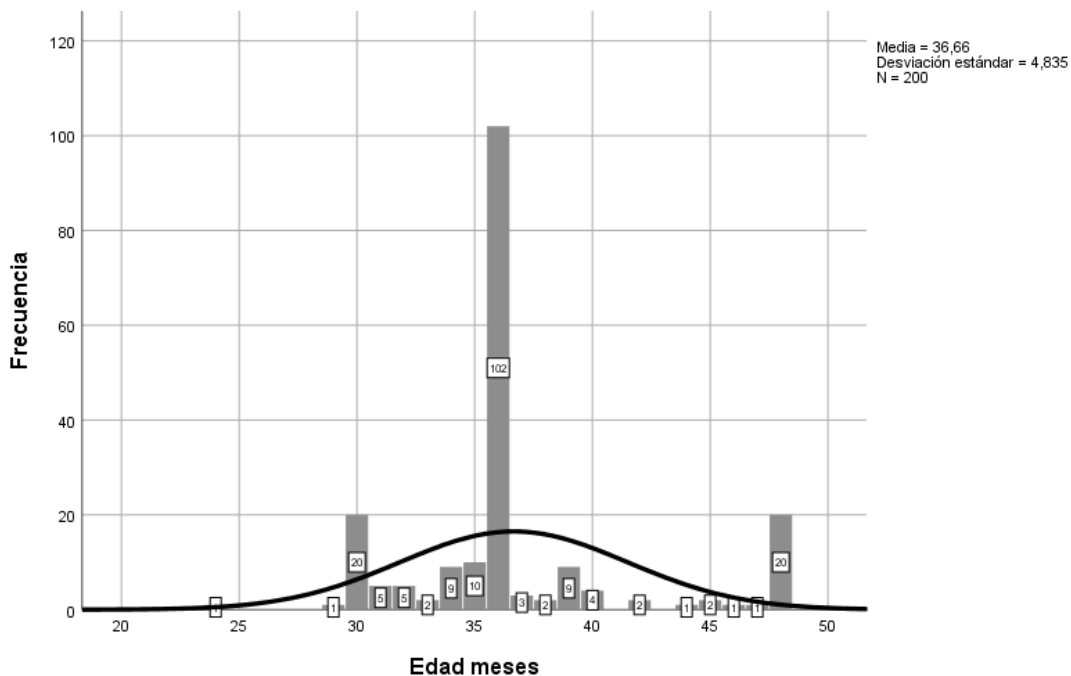


Figura 2. Histograma de la variable Edad.

Fuente: Abril.2021

Tabla 2. Estadística descriptiva para la variable CFA

Conteo de folículos antrales (CFA)		Valor
Número de determinaciones		200
Media		24
Intervalo de confianza 95% para la media	Límite inferior	22
	Límite superior	26
Varianza		127,56
Desviación estándar (DE)		11,29
Error estándar de la media		0,799
Mínimo		0
Percentil 5		6
Cuartil 25		16
Mediana		24
Cuartil 75		32
Percentil 95		40

Máximo	60
Rango	60
Distancia intercuartílica	16
Asimetría	0,405
Curtosis	0,556
Coefficiente de variación (DE/media) *100 %	47,0

La Figura 3 se presentan dos MODAS con 20 y 28 folículos antrales, media y mediana son iguales, sin embargo, la distribución no es normal por las irregularidades de las frecuencias en el centro, representado en el coeficiente de variación de 47%. 1/200 (0,5%) no presentaron folículos antrales visibles. El 5% de las novillas presentó un recuento de folículos antrales ≤ 6 y una proporción igual $\geq a 40$ folículos antrales. A continuación, se presenta el histograma:

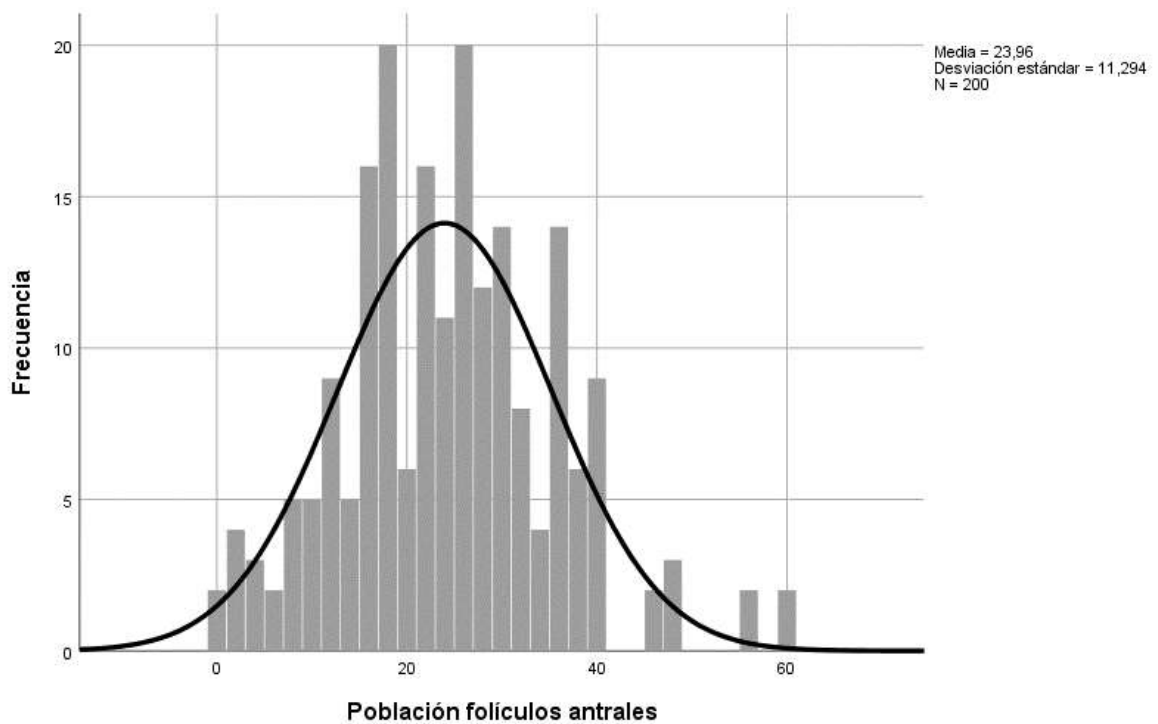


Figura 3. Histograma de la variable PFA.

Fuente: Abril.2021

Tabla 3. Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov

Variable	Estadístico	gl	Significancia
Edad en meses	0,329	200	0,000
Población folículos antrales	0,083	200	0,002

En la Tabla 3 se observa que las dos variables no presentan distribución normal, por lo tanto variable edad en meses, se trabajó con estadística normal y la población de folículos antrales con estadística no paramétrica.

Fuente: Abril.2021

Tabla 4. Análisis de varianza de edad por condición corporal

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Significancia
Entre betscore	164,590	2	82,295	3,613	0,029
Dentro de betscore	4486,605	197	22,775		
Total	4651,195	199			

Prueba Levene homogeneidad de varianza. Significancia: 0,038
Prueba de Welch. p: 0,055

Se encontraron diferencias en la edad para los grupos de condición corporal, como se puede apreciar en la Tabla 4.

Fuente: Abril.2021

Tabla 5. Promedios de edad por condición corporal

Condición corporal	N	Edad en meses	Desviación estándar	Intervalo confianza 95% para la media	
				Límite inferior	Límite superior
Delgada	108	36 a	4,51	35	37
Ideal	51	36 a	4,83	35	38
Obesa	41	38 b	5,35	37	40

En la Tabla 5 se presentan las novillas clasificadas en condición obesa presentaron edad significativamente superior a las clasificadas con score delgada e ideal.

Fuente: Abril.2021

Resultados de conteo de folículos antrales

Tabla 6. Prueba Kruskall Wallis para CFA por raza, mes de IATF y condición corporal

Estadísticos	Raza	Mes IATF	Condición corporal
U de Kruskall-Wallis	0,012	0,988	3,026
Wallis	1	1	2
gl	0,913	0,320	0,220
Significancia			

En la Tabla 6 se puede observar que no se presentaron diferencias en las medianas de la población de folículos antrales por condición corporal, raza y mes de IATF. En la Tabla 10 se presentan las medianas.

Fuente: Abril.2021

Tabla 7. Medianas de conteo de folículos antrales por condición corporal, raza y mes de IATF.

Condic	Corporal	Mediana	Raza	Mediana	Mes IATF	Mediana		
Delgada	1	25	Br	1	24	En	4	22
Ideal	08	24	ahman	26	25	ero 2020	1	24
Alta	5	21	blanco	7	---	Dic	1	---
Obesa	1	24	Br	4	-	iembre 2019	59	--
Tot	4		ahman rojo	-	---	----	-	---
al	1		---	--	-	-	----	--
	2		---	-		----	-	
	00		---	--		-	----	

Fuente: Abril.2021

Las novillas calificadas como obesas, presentaron igual promedio de CFA, con relación a los de condición delgada e ideal. Por lo tanto, no se encontraron diferencias, en la población de CFA, por grupo racial, mes de IATF y condición corporal ($P > 0,05$). La mediana general del CFA fue 24.

Resultados de la relación con la edad, el toro, la raza, el mes de IATF y el Vetscore.

La inseminación realizada con el toro Tanque Trueno en Brahman rojo y Comandante en el Brahman blanco, por tanto, no presentó efecto con el estado reproductivo.

Tabla 8. Frecuencias y distribución porcentual, de estado reproductivo por toro de IA

Semen Toro	Estadísticos	Estado reproductivo		Total
		Vacia	Preñada	
Tanque Trueno	Recuento	37	37	54
(B. rojo)	% por la fila	50,0	50,0	100
Comandante	Recuento	75	51	126
(B. blanco)	% por la fila	59,5	40,5	100
Total	Recuento	112	88	200
	% por la fila	56,0	44,0	100

χ^2 : 1,716 gl: 1; Significancia exacta bilateral: 0,238

Fuente: Abril.2021

En la tabla 8, se hizo un análisis de frecuencias con una prueba de χ^2 de independencia. Se evidencio que la condición preñada-vacía, es independiente del toro utilizado. Eso equivale a decir que la proporción de preñadas y vacías fue igual con los dos toros.

El porcentaje general de preñez fue de 44,0%, con un Intervalo de confianza 95%, entre 37,3 y 50,9% (Método de Wilson).

Tabla 9. Frecuencias y distribución porcentual, de estado reproductivo por mes de IATF

Mes de IATF	Estadígrafos	Estado reproductivo		Total
		Vacía	Preñada	
Enero	Recuento	26	15	41
2020	% por la fila	63,4	36,6	100
Diciembre	Recuento	86	73	159
2019	% por la fila	54,1	45,9	100
Total	Recuento	112	88	200
	% por la fila	56,0	44,0	100

χ^2 : 1,151 gl: 1; Significancia exacta bilateral: 0,297

Fuente: Abril.2021

En la Tabla 10, se expresa que la condición preñada-vacía, fue independiente del mes de IATF. Eso equivale a decir que la proporción de preñadas y vacías fue estadísticamente igual en los dos meses.

Tabla 10. Frecuencias y distribución porcentual, de estado reproductivo por condición corporal

Condición corporal	Estadígrafos	Estado reproductivo		Total
		Vacía	Preñada	
Delgada	Recuento	52	56	108
	% por la fila	48,1	51,9 a	100,0
Ideal	Recuento	32	19	51
	% por la fila	62,7	37,3 ab	100,0
Obesa	Recuento	28	13	41
	% por la fila	68,3	31,7 b	100,0

χ^2 : 6,158 gl: 2; Significancia exacta bilateral: 0,047

Columnas con letras distintas son proporciones estadísticamente diferentes (prueba de Z).

Fuente: Abril.2021

Se observa que la probabilidad de preñez fue significativamente inferior, en las novillas obesas, con respecto a las novillas delgadas, pero no con las novillas de condición ideal. Hay, por tanto, un efecto de la condición corporal. El CFA en función de la condición corporal, presentó significativa tendencia lineal de proporciones. χ^2 : 5,8325; gl: 1; p: 0,0157.

Tabla 11. Análisis de varianza de edad en meses, por estado reproductivo

Fuente	Suma de	gl	Cuadrado	F	Significancia
--------	---------	----	----------	---	---------------

de variación	cuadrados		medio		
Entre	104,145	1	104,145	4,535	0,034
estado reproductivo	4547,050	198	22,965		
Dentro de	4651,195	199			
estado reproductivo					
Total					
Prueba Levene homogeneidad de varianza. Significancia: 0,324					

Se encontraron diferencias significativas en la edad de las novillas preñadas y vacías. Se puede observar en la Tabla 12, que señala un mes más de edad en el grupo de novillas vacías.

Fuente: Abril.2021

Tabla 12. Promedios de edad en meses por estado reproductivo

Estado reproductivo	N	Edad en meses media	Desviación estándar	Intervalo confianza 95% para la media	
				Límite inferior	Límite superior
Preñada	88	36	4,78	35	37
Vacía	112	37	4,80	36	38

Fuente: Abril.2021

Tabla 13. Medianas de conteo folículos antrales por estado reproductivo

Estado reproductivo	N	PFA. Mediana
Vacía	112	21
Preñada	88	25
Total	200	24

Fuente: Abril.2021

En la Tabla 13 la población de folículos antrales, fue significativamente superior en las novillas que presentaron preñez, en relación con las que quedaron vacías. Se hicieron 4 grupos de novillas, teniendo en cuenta la población de folículos antrales, esto se hizo con el límite superior de los cuartiles, la clasificación se puede observar en la Tabla 14.

Tabla 14. Clasificación de las novillas según la CFA.

Grupo	Conteo de folículos antrales
≤ 16	Inferior
17 a 24	Medio bajo
25 a 32	Medio alto
> 32	Superior

Fuente: Abril.2021

Tabla 15. Frecuencias y distribución porcentual de estado reproductivo por cuartiles de población de folículos antrales

Clasificación	CFA	Estadígrafo	Estado reproductivo		Total
			Vacía	Preñada	
Inferior	≤ 16	Frecuencia	40	11	51
		% por fila	78,4	21,6 a	100,0
Medio bajo	17 a 24	Frecuencia	24	29	53
		% por fila	45,3	54,7 b	100,0
Medio alto	25 a 32	Frecuencia	23	31	54
		% por fila	42,6	57,4 b	100,0
Superior	> 32	Frecuencia	25	17	42
		% por fila	59,5	40,5 a	100,0

Total	-----	Frecuencia	112	88	200
	---	% por fila	56,0	44,0	100,0

χ^2 : 17,036 gl: 3; Significancia: 0,001

Columnas con letras distintas son proporciones estadísticamente diferentes (prueba de Z).

Fuente: Abril.2021.

En la Tabla 15 las novillas con el menor recuento de folículos antrales, del primer cuartil (inferior), presentaron significativamente menor proporción de preñez, que las novillas con recuentos clasificados en el medio bajo y medio alto, a su vez, a pesar de ser nominalmente diferentes, las proporciones de novillas preñadas fueron estadísticamente iguales para los grupos inferior y superior.

Tabla 16. Frecuencias y distribución porcentual de cuartiles de CFA por condición corporal.

Condición	Estadística	Cuartiles por Conteo de folículos antrales				Total
		Inferior	Medio Bajo	Medio Alto	Superior	
Delgada	Frecuencia	29	24	29	26	108
		26,9	22,	26,	24,1	100
	% por fila		2	9		,0
Ideal	Frecuencia	8	18	15	10	51
		15,7	35,	29,	19,6	100
	% por fila		3	4		,0
Obesa	Frecuencia	14	11	10	6	41
		34,1	26,	24,	14,6	100
	% por fila		8	4		,0
Total	Frecuencia	51	53	54	42	200
		25,5	26,	27,	21,0	100
	% por fila		5	0		,0

χ^2 : 6,980 036 gl: 6; Significancia exacta bilateral: 0,327

Fuente: Abril.2021

Se observa en la Tabla 16 que la condición corporal no se asoció a los grupos de novillas por población de folículos antrales, apreciándose como las de condición delgada presentaron proporción similar en los 4 grupos, las de condición ideal presentaron proporción superior en el grupo medio bajo y las obesas presentaron mayor proporción en el grupo inferior.

Tabla 17. Prueba de t para edad en meses y conteo de folículos antrales, dentro de cada condición corporal.

Condición Corporal	Edad en meses y PFA*	Estado Reproductivo.		Prueba de t		
		Vacía	Preñada	t	gl	p
		a	a			
Delgada	Edad	37	35	2,53	106	0,01
	Edad en meses	25	24	7	98,	3
	PFA			0,38	3	0,70
Ideal	Edad	36	37	-	49	0,48
	Edad en meses	20	31	0,702	49	6
	PFA			-		0,00
Obesa	Edad	39	37	0,92	39	0,36
	Edad en meses	21	23	1	36,	3
	PFA			-	7	0,53
				0,624		7

*PFA: Población de folículos antrales.

Fuente: Abril.2021

En la Tabla 17 se presenta para cada grupo la condición corporal, los promedios de edad en meses y CFA, para las novillas preñadas y vacías. Las novillas de condición delgada presentaron significativa menor edad a la preñez y similar CFA. Las novillas de condición ideal no presentaron diferencias en la edad a la preñez, pero si significativas en la CFA siendo inferior en las novillas vacías. Las novillas de condición obesa presentaron similar edad y CFA para novillas preñadas y vacías. Teniendo en cuenta que esta tabla no compara entre grupos, sino dentro de grupos.

En la **Figura 4** se observa la distribución porcentual del CFA y CC entre las novillas Brahman.

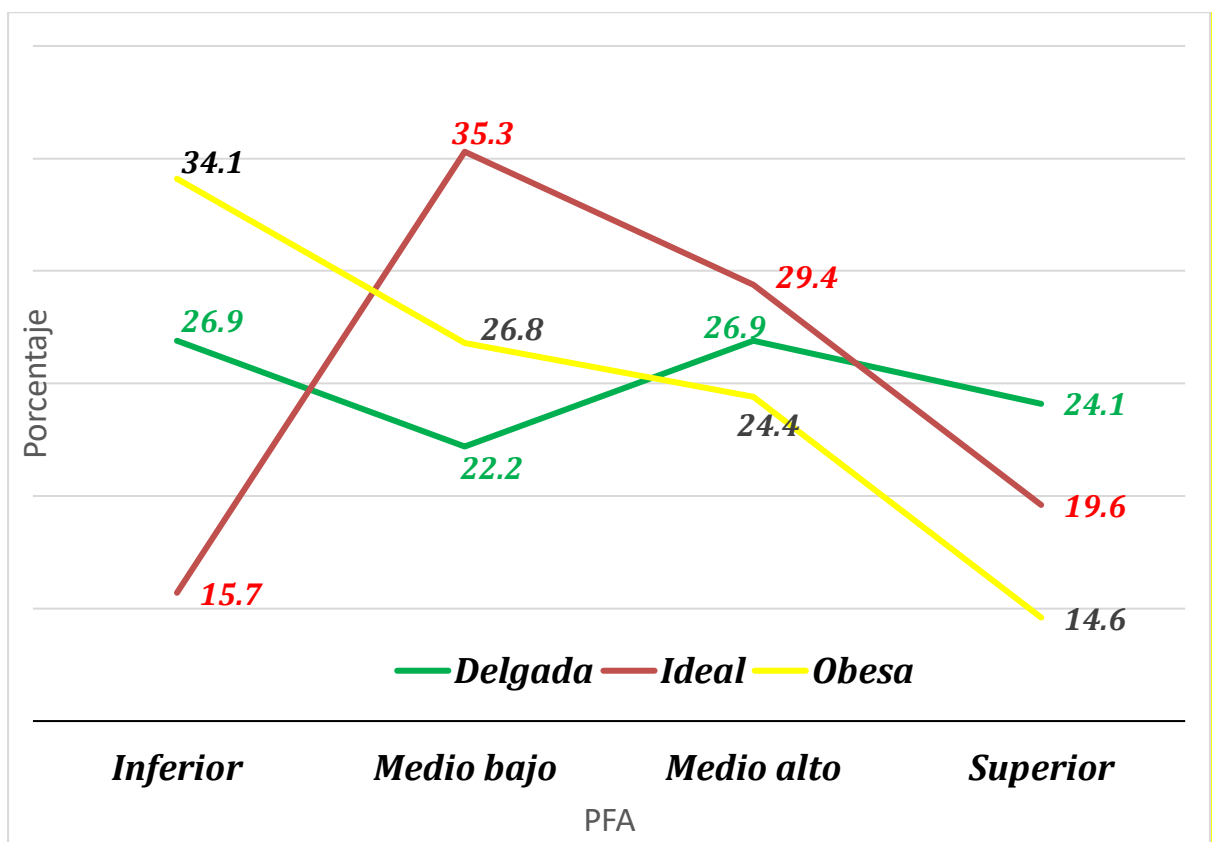


Figura 4. Distribución porcentual de novillas, por condición corporal y cuartiles del conteo de folículos antrales.

Fuente: Abril.2021

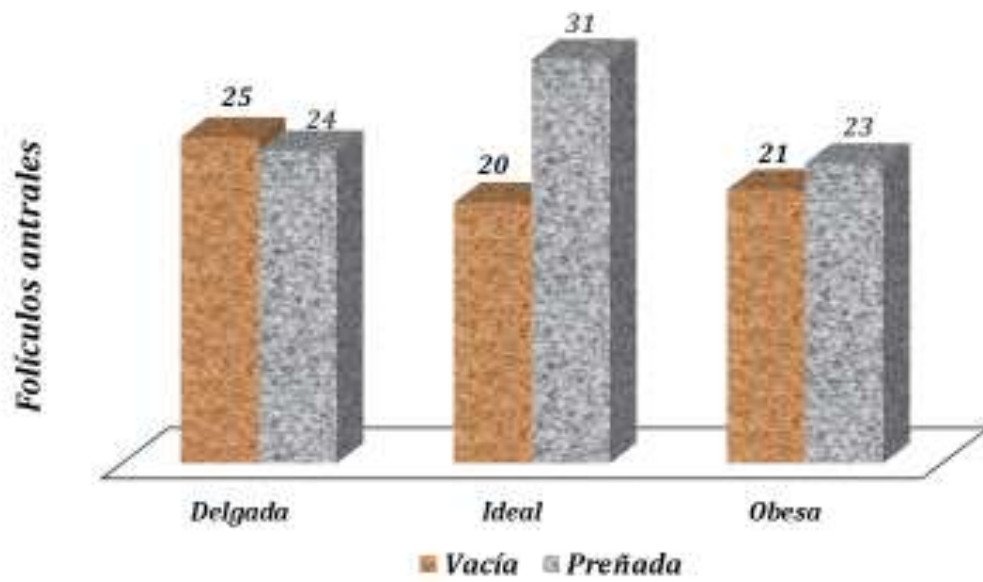


Figura 5. Promedio de folículos antrales, de novillas Brahman con IATF, por estado reproductivo según condición corporal.

Fuente: Abril.2021

En las **Figuras 6, 7 y 8** se observan los animales utilizados para este proyecto, la realización del análisis reproductivo como criterio de inclusión en el estudio y la ejecución del protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo.



Fuente: Hernández.2021

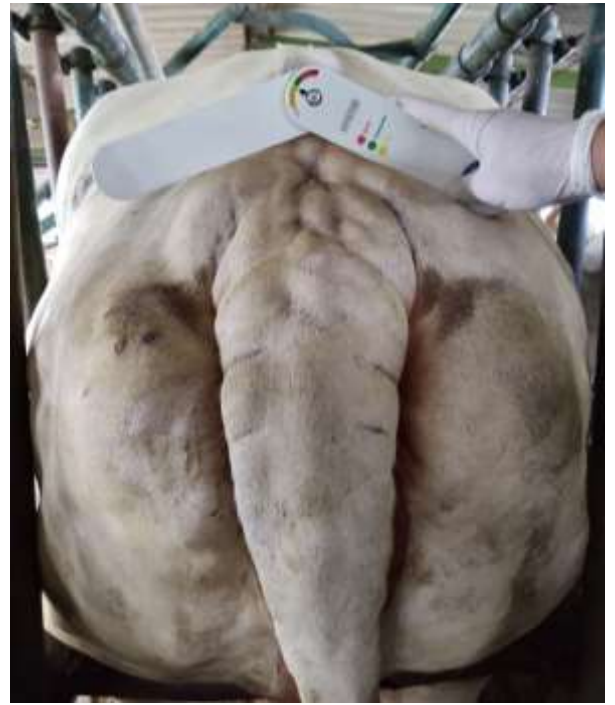


Figura 6. Evaluación reproductiva y condición corporal de hembras bovinas de raza Brahman utilizadas en el proceso de investigación

Fuente: Mejia.2021



Figura 7. Realización de evaluación ecográfica transrectal, determinación del puntaje de condición corporal (Vetscore), conteo de folículos antrales e inicio del protocolo de sincronización de la ovulación de las hembras bovinas de raza Brahman.

Fuente: Hernández.2021



Figura 8. Evaluación reproductiva de las novillas Brahman 40 días pos inseminación para determinar el porcentaje de preñez

Fuente: Mejia.2021

DISCUSIÓN

Para lograr la eficiencia productiva en los sistemas de producción bovino, es fundamental buscar parámetros fisiológicos de selección que sean medibles, repetibles, y que tenga una estrecha relación con la fertilidad en animales intervenidos por biotecnologías reproductivas que permitan fomentar la competitividad productiva y económica del hato. De esta forma la utilización del conteo de folículos antrales (CFA) y la condición corporal (CC) como criterios de selección en novillas Brahman para ser intervenidas en la biotecnología reproductiva de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) con el fin de aumentar la eficiencia al momento de aplicar esta biotecnología reproductiva.

La relación entre el CFA y la fertilidad es de considerable importancia en el ganado, ya que el CFA y el desempeño reproductivo han sido el foco de varios estudios en los últimos años (Burns et al., 2005; Evans et al., 2012; J Ireland et al., 2011; Jimenez-Krassel et al., 2015; Morotti et al., 2017; Mossa et al., 2012; Santos et al., 2016; Silva-Santos et al., 2014; Silva-Santos et al., 2014). La gran variabilidad en el número de folículos antrales es una característica notable del ganado. Aunque existe una gran variabilidad, el CFA observado en un individuo dado en evaluaciones consecutivas del CFA tiene una repetibilidad considerable (Burns et al., 2005; Ireland et al., 2007).

Los porcentajes de preñez en hembras *Bos indicus* presentan diferencias que oscilan desde el 21% hasta un 55% (Burns et al., 2005; Sartori et al., 2016; Silva-Santos et al., 2014) asociado al estado fisiológico y productivo (Morotti et al., 2015; Santos et al., 2016) y la condición corporal (Evans et al., 2012). En este estudio utilizándose un protocolo convencional en novillas Brahman el porcentaje de preñez fue del (44.0%; 88/200), teniendo en cuenta que estos porcentajes se obtuvieron en una sola inseminación por novilla.

El porcentaje de preñez en novillas Brahman después de la IATF convencional fue influenciada ($P < 0.05$) no solo por la clasificación del CFA (inferior, 22.0 % a; medio bajo, 55.0%

b; medio alto, 57.0% b y superior 41.0% a ($P < 0.01$)), sino también por la clasificación de la CC (delgada, 51.9% a; ideal, 37.3% ab; y obesa, 31.7% b). Además, la interacción entre AFC y BCS resultó en variaciones respecto al porcentaje de preñez (Figura 5).

La probabilidad de preñez fue significativamente inferior, en las novillas obesas, con respecto a las novillas delgadas, pero no con las novillas de condición ideal. Por lo tanto, hay un efecto respecto a la condición corporal ($P < 0.05$). Pudiéndose expresar que por cada 10 novillas obesas preñadas con IATF se preñaron 16 novillas de condición delgada.

Los datos del presente estudio han confirmado que el porcentaje de preñez en el ganado Brahman puede verse afectado ($P < 0.05$) no solo por variabilidad del CFA sino también por la variación de la CC. Sin embargo, estos datos reflejan una interacción significativa entre los parámetros fisiológicos del CFA y la CC que pueden determinar una importante variación en los porcentajes de preñez de las novillas sometidas a la biotecnología reproductiva de IATF. Por lo tanto, a partir de esta interacción, se observó que la clasificación de novillas con un moderado CFA (17 a 32) tiene una mayor influencia en novillas con CC baja (delgadas) que en aquellas con CC alta (obesas), siendo estos resultados similares a los reportados por (De Moraes et al., 2019). La justificación de la interacción de la CC aún no se conoce, pero algunas influencias metabólicas pueden ocurrir dependiendo del estado nutricional. Finalmente, desde un punto de vista práctico, la evaluación interactiva del CFA y la CC se pueden evaluar estratégicamente determinando la variabilidad en el porcentaje de preñez de las novillas sometidas a programas de IATF.

Los datos del presente estudio son muy similares a los datos presentado por (Morotti et al., 2018) al referirse que las hembras bovinas con el CFA más alto no tuvieron un alto porcentaje de preñez, siendo diferentes a los publicados anteriormente sobre de la relación entre CFA y fertilidad en hembras bovinas intervenidas a programas de IATF. En la última década, un gran número de estudios han publicado sobre este tema (Ireland et al., 2011; Jimenez-Krassel et al., 2017; Martinez et al., 2016; Morotti et al., 2018; Mossa et al., 2012). En el ganado *Bos taurus*, parece haber consenso en que un CFA alto es muy ventajoso porque una gran cantidad de

folículos antrales se correlaciona con varias características que están relacionadas con la alta fertilidad (Evans et al., 2012; Mossa et al., 2012), o un mayor porcentaje de preñez después de la IA e IATF (Cushman et al., 2009; Martinez et al., 2016), un mayor número de embriones producidos *in vivo* e *in vitro* (Ireland et al., 2007; Santos et al., 2016; Silva-Santos et al., 2014), mejor calidad de oocitos (Ireland et al., 2008; Mossa et al., 2012), una mayor concentración de progesterona (Jimenez-Krassel et al., 2009) y beneficios con respecto a la productividad del hato (Jimenez-Krassel et al., 2015).

Varios estudios en animales *Bos indicus* y *B. indicus* x *B. taurus* han obtenido resultados que son consistentes con los hallazgos en *Bos taurus*, con respecto a la producción embrionaria. En otras palabras, el desempeño de los donantes con alto CFA ha sido superior en donantes con recuentos intermedios o bajos con respecto al número de oocitos recuperados o el número de embriones producidos (Ireland et al., 2008; Ireland et al., 2007; Santos et al., 2016; Silva-Santos et al., 2014). Sin embargo, un estudio sobre el porcentaje de preñez por IATF reveló que el CFA no tiene ningún efecto, mostrando similares porcentajes de preñez (58,5, 48,6 y 51,9%) entre los grupos de CFA bajo, intermedio y bajo (Santos et al., 2016), mientras que otros estudios han presentado hallazgos contradictorios, mostrando una mejor capacidad reproductiva con CFA bajos (Jimenez-Krassel et al., 2017; Morotti et al., 2017, 2018).

En el presente estudio, el aumento en la tasa de preñez de 8 a 10% para novillas con CFA intermedio en comparación con aquellas con AFC alto es consistente con los datos reportados por (Morotti et al., 2018), quienes informaron porcentajes de preñez del 61,7%, 52,9% y 49,5% para sus grupos de CFA bajo, intermedio y alto, respectivamente. Además, al examinar la dinámica folicular ovárica, estos autores revelaron que las vacas con CFA bajas exhibían diámetros foliculares más grandes en momentos específicos del protocolo de IATF (por ejemplo, del día 8 al día 10), y este factor puede explicar la mayor tasa de preñez en este grupo. Los

folículos dominantes más grandes durante los programas de IATF se han asociado con porcentajes más altos de preñez, como lo describen (Pfeifer et al., 2015; Sá Filho et al., 2010).

Por otro lado, cabe señalar que estos estudios se realizaron en ganado *Bos indicus*, y es posible que estos datos contradictorios pueden deberse a diferencias entre subespecies (Baruselli et al., 2007; Batista et al., 2014), ya que los primeros estudios de CFA se realizaron con animales *Bos taurus*. Sin embargo, un estudio (Jimenez-Krassel et al., 2017) con vacas Holstein también revelaron tasas de fertilidad y productividad más altas para las hembras con CFA bajo. Por tanto, a pesar de las controversias sobre este tema (Morotti et al., 2015, 2017), con respecto a las preñeces obtenidas por inseminación los resultados del presente estudio son similares a las últimas investigaciones (Ireland et al., 2011; Jimenez-Krassel et al., 2017; Martinez et al., 2016; Morotti et al., 2018; Mossa et al., 2012), respecto a la clasificación del CFA para *Bos indicus*: bajo, <10 folículos; intermedio, 16 a 20 folículos; y alto, ≥ 25 folículos. Sin embargo (Morotti et al., 2018), utilizaron una clasificación diferente, como sigue: bajo, 15 folículos; intermedio, de 20 a 40 folículos; y alto, 45 folículos. Esta divergencia es ciertamente un desafío y refleja la necesidad de desarrollar una metodología estandarizada para que el CFA pueda usarse ampliamente como una herramienta reproductiva predecible de manera reproducible y consistente.

En este estudio, las novillas con CC baja (delgadas) exhibieron porcentajes de preñez más altos que las que tenían CC media (ideal) y alta (obesas). Curiosamente, este comportamiento reproductivo no sigue los patrones descrito por la mayoría de los informes en la literatura sobre ganado de carne. Por ejemplo, se informa que la CC tiene un efecto positivo en los porcentajes de preñez en vacas lactantes Nelore (Pereira et al., 2018). Algunos estudios sobre ganado de carne (*Bos indicus*) sometidos a programas de IATF han informado que las hembras bovinas con una puntuación <2,75 tienen porcentajes de preñez más bajos que aquellas con una CC > 2,75 (Sá Filho et al., 2010; Sales et al., 2011). Sin embargo, los estudios que se realizaron

específicamente con ganado lechero han informado de un mayor desafío para la salud y la fertilidad en vacas con CC elevadas durante el período posparto debido a cambios metabólicos (Wathes, et al., 2007a; Wathes, et al., 2007b). Los trastornos de la ingestión y las altas tasas metabólicas de las vacas lecheras posparto son dos de los principales factores que contribuyen al balance energético negativo (BEN) (Soca et al., 2014; Wathes et al., 2007).

La relación entre el BEN y la calidad de los oocitos, la producción de hormonas y el metabolismo, así como sus relaciones con un bajo rendimiento reproductivo, están bien referenciadas (Roche et al., 2018; Wathes, et al., 2007; Wathes, et al., 2007). Por otro lado, estas asociaciones son poco comprendidas, particularmente la relación entre la CC y el balance energético. Considerando los datos del presente estudio, no está claro por qué las novillas con un CFA alto y CC alta mostraron el resultado con el menor porcentaje de preñez. Esto puede sugerir que las novillas con la CC más alta tienen menor capacidad de mantener un adecuado equilibrio nutricional y fertilidad. Por lo tanto, como los predios ganaderos de la Orinoquia con amplias extensiones pueden ser limitados en cantidad y calidad de forraje, pueden generar desafíos en mantener un balance energético adecuado en las novillas, dependiendo de su CC. Esta hipótesis necesita ser probada, y estas ideas simplemente son especulaciones. Sin embargo, en este estudio, se desprende de la interacción entre estos factores (CFA y CC) que el grupo de novillas con CFA altos y CC altas tienen drásticamente un porcentaje de preñez reducido, lo que representa una caída de más del 15% en comparación con el grupo con CFA medio y CC baja.

Por último cabe destacar que desde un componente genético la heredabilidad del CFA de un animal de manera individual ha sido calculada en un rango de 0,25- 0,30 (Walsh et al., 2014), lo que se considera una heredabilidad media, por lo que se sugiere que podría utilizarse como predictor de los caracteres ya mencionados. Lo que indica que el CFA podría utilizarse como herramienta genética: si existiera un DEP (Diferencia Esperada de Progenie) para CFA tal como existe para circunferencia escrotal (CE) o días al parto (DP), ya que este último tiene baja

heredabilidad y la CE es tan solo una medida indirecta de la edad a la pubertad de sus hijas (Sanderson et al., 2017). Esta herramienta podría ser utilizada por criadores a la hora de contemplar un programa de IATF en un sistema de producción bovino revisando los ovarios, previo a la sincronización, para excluir las hembras de bajo CFA. De esta manera, se podría ahorrar en el costo de semen y hormonas en la preselección de hembras con menores probabilidades de quedar preñadas al aplicar una biotecnología reproductiva como la IATF.

CONCLUSIÓN

Se ha demostrado que el conteo de folículos antrales y la condición corporal influyen en el porcentaje de preñez en novillas Brahman intervenidas en la biotecnología reproductiva inseminación artificial a tiempo fijo, adicionalmente; el CFA y la CC representan fuentes importantes de variación para los porcentajes de preñez, con el porcentaje más bajo las novillas obesas con bajo CFA y el porcentaje más alto las novillas delgadas con CFA intermedios.

AGRADECIMIENTOS

A la Hacienda La Carola por brindar la logística que permitiese llevar a cabo las diferentes fases de este proyecto de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ball, P., y Peters, A. B. (2008). *Reproduction in Cattle Third Edition*.

[https://www.google.com/search?tbm=bks&q=ball,+by+peters,+a.+b.+\(2008\).+reproduction+in+cattle+third+edition.&spell=1&sa=x&ved=2ahukewjrk96fmmxxahxuggofht1tatcqbsgaegqiara8&biw=744&bih=728&dpr=1.25](https://www.google.com/search?tbm=bks&q=ball,+by+peters,+a.+b.+(2008).+reproduction+in+cattle+third+edition.&spell=1&sa=x&ved=2ahukewjrk96fmmxxahxuggofht1tatcqbsgaegqiara8&biw=744&bih=728&dpr=1.25)

[https://www.google.com/search?tbm=bks&q=ball,+by+peters,+a.+b.+\(2008\).+reproduction+in+cattle+third+edition.&spell=1&sa=x&ved=2ahukewjrk96fmmxxahxuggofht1tatcqbsgaegqiara8&biw=744&bih=728&dpr=1.25](https://www.google.com/search?tbm=bks&q=ball,+by+peters,+a.+b.+(2008).+reproduction+in+cattle+third+edition.&spell=1&sa=x&ved=2ahukewjrk96fmmxxahxuggofht1tatcqbsgaegqiara8&biw=744&bih=728&dpr=1.25)

<https://books.google.es/books?hl=esylr=yid=8srzjmik4fscyoifndypg=pr3ydyq=reproduction+fertility+cowsyots=bh5s20dcynysig=sdywds1ahqfe8pjb-kwc1o4obk>

Baruselli, P S, Marques, ;, Vieira, ;, Konrad, ;, y Crudeli, ; (2015). aplicación de biotecnologías para una mayor producción de terneros. *revista veterinaria*, 26(2), 154–159.

www.vet.unne.edu.ar

Baruselli, Pietro S, Gimenes, L. U., Nelio, J., y Sales, S. (2007). Fisiología reproductiva de fêmeas taurinas e zebuínas. *rev bras reprod anim*, 31(2), 205–211. www.cbra.org.br

Batista, E. O. S., Macedo, G. G., Sala, R. V., Ortolan, M. D. D. V., Sá Filho, M. F., Del Valle, T. A., Jesus, E. F., Lopes, R. N. V. R., Rennó, F. P., y Baruselli, P. S. (2014). Plasma antimullerian hormone as a predictor of ovarian antral follicular population in bos indicus (nelore) and bos taurus (holstein) heifers. *reproduction in domestic animals*, 49(3), 448–452. <https://doi.org/10.1111/rda.12304>

Berdugo, A. (2020). estudio comparativo de los niveles de hormona antimulleriana (amh), recuento de folículos antrales y expresión génica en ovarios de vacunos y bufalinos. in repositorio.unal.edu.co. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78237>

Berrutti, M. S., y Rodriguez, M. (2018). impacto del recuento de folículos antrales sobre la fertilidad de vaquillonas de razas carniceras en un programa de inseminación a tiempo fijo

seriado. <https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/handle/123456789/1514>

- Bicalho, R., Galvao, K., Guard, C., Theriogenology, J. S.-, y 2008, U. (2008). optimizing the accuracy of detecting a functional corpus luteum in dairy cows. *theriogenology*, 70(2), 199–207. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X08001593>
- Bó, G. A., Huguenine, E., De La Mata, J. J., Núñez-Olivera, R., Baruselli, P. S., y Menchaca, A. (2018). Programs for fixed-time artificial insemination in South American beef cattle. *Animal Reproduction*, 15, 952–962. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0025>
- Bo, G., Peres, L., y Baruselli, P. S. (2007). Technologies for fixed-time artificial insemination and their influence on reproductive performance of bos indicus cattle article in society of reproduction and fertility supplement - biotechnologies view project improvement of fertility with treatments that prolong the proestro in synchronization programs of beef cattle view project. *researchgate.net*. <https://doi.org/10.5661/rdr-vi-223>
- Bridges, G., Helser, L., Grum, D., y Mussard, M. (2008). Decreasing the interval between GnRH and PGF2 α from 7 to 5 days and lengthening proestrus increases timed-ai pregnancy rates in beef cows. *theriogenology*, 69(7), 843–851. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X08000022>
- Burns, D. S., Jimenez-Krassel, F., Ireland, J. L. H., Knight, P. G., y Ireland, J. J. (2005). Numbers of antral follicles during follicular waves in cattle: evidence for high variation among animals, very high repeatability in individuals, and an inverse association with serum follicle-stimulating hormone concentrations¹. *biology of reproduction*, 73(1), 54–62. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.104.036277>
- Colazo, M., y Mapletoft, R. (2014). Fisiología del ciclo estral bovino. in revista ciencias veterinarias (vol. 16). <http://170.210.120.129/index.php/veterinaria/article/view/1702>
- Colque, A. (2019). Efecto de la ablación folicular y la estimulación hormonal sobre la tasa de recuperación de ovocitos aspirados por ultrasonografía transvaginal guiada en vacas Brown Swiss. Repositorio.Unap.Edu.Pe. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/unap/14215>

- Cunha, F., De la Nava, G., y Viñoles, C. (2016). Impacto del recuento de folículos antrales sobre fertilidad de vaquillonas de carne.
- Cushman, R. A., Allan, M. F., Kuehn, L. A., Snelling, W. M., Cupp, A. S., y Freetly, H. C. (2009). Evaluation of antral follicle count and ovarian morphology in crossbred beef cows: Investigation of influence of stage of the estrous cycle, age, and birth weight. *J Anim Sci J. anim. sci*, 87, 1971–1980. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1728>
- Cushman, R. A., Mcneel, A. K., y Freetly, H. C. (2014). The impact of cow nutrient status during the second and third trimesters on age at puberty, antral follicle count, and fertility of daughters \$. *livestock science*, 162, 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.033>
- De Moraes, F., Morotti, F., Costa, C., PA Lunardelli -, y 2019, U. (2019). Relationships between antral follicle count, body condition, and pregnancy rates after timed-ai in bos indicus cattle. *theriogenology*, 136, 10–14.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X19302432>
- De Nava, G. (2015). El rol del veterinario en la instrumentación de programas de IATF. in bibliotecadigital.fvet.edu.uy.
https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/2258/jb2015_115-126.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- De Nava, G., Guggeri, P., Sabarrós, R., y Gil, A. (2008). Impacto de un programa de inseminación artificial a tiempo fijo en vaquillonas sobre la productividad de la vaca de primera cría. in xxxvi jornadas uruguayas de buiatría.
https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/127/jb2008_187-188.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dorneles, T., Ferreira, R., y Tonello dos Santos, J. (2013). The effect of equine chorionic gonadotropin on follicular size, luteal volume, circulating progesterone concentrations, and pregnancy rates in anestrous beef. *theriogenology*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X13000721>

- Evans, A. C. O., Mossa, F., Walsh, S. W., Scheetz, D., Jimenez-Krassel, F., Ireland, J. L. H., Smith, G. W., y Ireland, J. J. (2012). Effects of maternal environment during gestation on ovarian folliculogenesis and consequences for fertility in bovine offspring. *Reproduction in Domestic Animals*, 47(SUPPL.4), 31–37. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2012.02052.x>
- Figueira, P., Ereno, R., Satrapa, R., Pinheiro, V., Trinca, L., y Barros, C. (2011). Neither plasma progesterone concentrations nor exogenous eCG affects rates of ovulation or pregnancy in fixed-time artificial insemination (ftai) protocols for. *theriogenology*, 75(1), 17–23. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X10003626>
- Garcia, I. I., y López, G. F. (2013). A three-day PGF2 α plus eCG based fixed-time ai protocol improves fertility compared with spontaneous estrus in dairy cows with silent ovulation. *Journal of reproduction and development*, 59(4), 393–397. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrd/advpub/0/advpub_2013-017/_article/-char/ja/
- Gigli, I., Russo, A., InVet, A. A.-, y 2006, U. (2006). Consideraciones sobre la dinámica ovárica en equino, bovino y camélidos sudamericanos. *reproducción de los animales domésticos*, 8(1), 3–18. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179114159018>
- Gimenes, L. U., Sá Filho, M. F., Carvalho, N. A. T., Torres-Júnior, J. R. S., Souza, A. H., Madureira, E. H., Trinca, L. A., Sartorelli, E. S., Barros, C. M., Carvalho, J. B. P., Mapletoft, R. J., y Baruselli, P. S. (2008). Follicle deviation and ovulatory capacity in bos indicus heifers. *theriogenology*, 69(7), 852–858. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.01.001>
- Greve, T., y Callesen, H. (2003). Integrating new technologies with embryology and animal production. *reproduction, fertility and development*, 16(2), 113–122. <https://doi.org/10.1071/RD03084>
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA. (2020). Censo pecuario nacional del ICA 2020 (técnico). *Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario*. <https://www.ica.gov.co/Areas/Pecuaria/Servicios/Epidemiologia-Veterinaria/Censo->

2019.aspx

Ireland, J, Scheetz, D., Jimenez-Krassel, F., Themmen, A. P. N., Ward, F., Lonergan, P., Smith, G. W., Perez, G. I., Evans, A. C. O., y Ireland, J. J. (2008). Antral follicle count reliably predicts number of morphologically healthy oocytes and follicles in ovaries of young adult cattle. *biology of reproduction*, 79(6), 1219–1225.

<https://doi.org/10.1095/biolreprod.108.071670>

Ireland, J, Smith, G., Scheetz, D., Jimenez-Krassel, F., Folger A, B, J. K., Ireland, J. L. H., Mossa, F., Lonergan, P., y Evans, A. (2011). Does size matter in females? An overview of the impact of the high variation in the ovarian reserve on ovarian function and fertility, utility of anti-Müllerian hormone as a diagnostic marker for fertility and causes of variation in the ovarian reserve. *Reprod. Fertil. Dev.*, 23(1), 1–14. <https://doi.org/10.1071/RD10226>

Ireland, JJ, Ward, F., Jimenez-Krassel, F., Ireland, J. L. H., Smith, G. W., Lonergan, P., y Evans, A. C. O. (2007). Follicle numbers are highly repeatable within individual animals but are inversely correlated with FSH concentrations and the proportion of good-quality embryos after ovarian stimulation in cattle. *human reproduction*, 22(6), 1687–1695.

<https://doi.org/10.1093/humrep/dem071>

Jimenez-Krassel, F., Folger, J., ... J. I.-B. of, y 2009, U. (2009). Evidence that high variation in ovarian reserves of healthy young adults has a negative impact on the corpus luteum and endometrium during estrous cycles in cattle. *biol reprod.*, 80(6), 1272–1281.

<https://academic.oup.com/biolreprod/article-abstract/80/6/1272/2557946>

Jimenez-Krassel, F., Scheetz, D., ... L. N.-J. of D., y 2015, U. (2015). Concentration of anti-müllerian hormone in dairy heifers is positively associated with productive herd life. *j dairy sci*, 98(5), 3036–3045.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030215001216>

Jimenez-Krassel, F., Scheetz, D., y Neuder, L. (2017). A single ultrasound determination of ≥ 25 follicles ≥ 3 mm in diameter in dairy heifers is predictive of a reduced productive herd life.

journal of dairy science, 100(6), 5019–5027.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030217302928>

Lamb, G. C., Dahlen, C. R., Larson, J. E., Marquezini, G., y Stevenson, J. S. (2010). Control of the estrous cycle to improve fertility for fixed-time artificial insemination in beef cattle: a review. *j anim sci*, 88, e181–e192. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2349>

Lowman, B., y Scott, S. (1976). *Condition scoring of cattle*. East of scotland college of agriculture.

https://scholar.google.es/scholar?hl=esyas_sdt=0%2c5yq=condition+scoring+of+cattle%2c+revised+edition.+east+of+scotland+college+of+agriculture.ybtng=

Marizancén, M. A., y Artunduaga, L. (2017). Mejoramiento genético en bovinos a través de la inseminación artificial y la inseminación artificial a tiempo fijo genetic improvement in cattle through artificial insemination and artificial insemination at fixed time melhoria genética em bovinos através. *revista de investigación agraria y ambiental*, 8(2).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285365>

Marques, M., Morotti, F., Lorenzetti, E., Bizarro-Silva, C., y Seneda, M. (2018). Intensified use of tai and sexed semen on commercial farms. *animal reproduction*, 15(3), 197–203.

<https://doi.org/10.21451/1984-3143-ar2018-0070>

Martinez, M., Sanderson, N., Quirke, L., y Lawrence, S. (2016). Association between antral follicle count and reproductive measures in New Zealand lactating dairy cows maintained in a pasture-based production system. *Theriogenology*, 85(3), 466–475.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X15004975>

Medeiros, B., Brenner, R., Willke, F., Neves, J., Oliveira, Bragança, J., Machado, S., Porciúncula, P., y Gonçalves, P. (2004). Hormonal induction of ovulation and artificial insemination in suckled beef cows under nutritional stress. *Theriogenology*, 62(5), 847–853. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X03004783>

Meneghetti, M., Filho, O. S., Peres, R., Lamb, G., y JLM, V. (2009). Fixed-time artificial

insemination with estradiol and progesterone for *Bos indicus* cows I: basis for development of protocols. *Theriogenology*, 72(2), 179–189.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X09000983>

Meneghetti, M., y Vasconcelos, J. (2008). Calving date, body condition score, and response to a timed artificial insemination protocol in first-calving beef cows. *Arquivo Brasileiro*.

<https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102->

[09352008000400002yscript=sci_arttextylng=es](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-09352008000400002yscript=sci_arttextylng=es)

Monniaux, D. A., Drouilhet, L. A., Rico, C. A., Estienne, A. A., Jarrier, P. A., Touzé, J.-L. A., Sapa, J. E., Phocas, F. E., Dupont, J. A., Dalbiès-Tran, R. A., y Fabre, S. A. (2012).

Regulation of anti-müllerian hormone production in domestic animals. *reproduction, fertility and development*, 25(1), 1–16. <https://doi.org/10.1071/rd12270>

Morotti, F., Barreiros, T., Machado, F., González, S., Marinho, L., y Seneda, M. (2015). Is the number of antral follicles an interesting selection criterium for fertility in cattle? In *Anim. Reprod*, v (Vol. 12, Issue 3).

[https://animal-](https://animal-reproduction.org/article/5b5a6033f7783717068b4612)

[reproduction.org/article/5b5a6033f7783717068b4612](https://animal-reproduction.org/article/5b5a6033f7783717068b4612)

Morotti, F., Moretti, R., Gomes dos Santos, G. M., Silva-Santos, K. C., y Seneda, M. M. (2018).

Ovarian follicular dynamics and conception rate in *bos indicus* cows with different antral follicle counts subjected to timed artificial insemination. *reproduction, fertility and development*, 30(1), 143. <https://doi.org/10.1071/rdv30n1ab7>

Morotti, F., Sanches, B. V., Pontes, J. H. F., Basso, A. C., Siqueira, E. R., Lisboa, L. A., y

Seneda, M. M. (2014). Pregnancy rate and birth rate of calves from a large-scale IVF program using reverse-sorted semen in *Bos indicus*, *Bos indicus-taurus*, and *Bos taurus* cattle. *Theriogenology*. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.12.002>

Morotti, F., Zangirolamo, A., Covre da Silva, N., Bizarro da Silva, C., Oliveira, C., y Marcondes, M. (2017). Antral follicle count in cattle: advantages, challenges, and controversy. *sbte*,

14(3), 514–520. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-ar994>

- Mossa, F., Walsh, S., Butler, S., Berry, D., ... F. C.-J. of dairy, y 2012, U. (2012). Low numbers of ovarian follicles ≥ 3 mm in diameter are associated with low fertility in dairy cows. *Elsevier*, 95(5), 2355–2361. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030212002032>
- Motta, P. A., Ramos, N., González, C., y Rojas, E. (2011). Dinámica folicular en la vida reproductiva de la hembra bovina Follicular dynamics in the reproductive life of female livestock. *Vet.Zootec.*, 5(2), 88–99.
https://www.researchgate.net/profile/Pablo_Motta_Delgado/publication/311487357_Dinamica_folicular_en_la_vida_reproductiva_de_la_hembra_bovina_Follicular_dynamics_in_the_reproductive_life_of_female_livestock/links/58488da908aeda696825e819/Dinamica-folicular
- Odde, K. G. (1990). A review of synchronization of estrus in postpartum cattle. In *J Anim Sci*.
<https://academic.oup.com/jas/article-abstract/68/3/817/4704015>
- Palma, G. A., y Brem, G. (2001). *Biotechnología de la reproducción*.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=yid=zmHbayu_hflCyoI=fndypg=PA1yDq=biotecnologías+reproductivas+bovinos&ots=YMhgrNERamysig=dv9m0yWcZQg3bxnCh3C1mYI4jZ0
- Pareja, R. (2002). El ganado brahman para la zona tropical. In *ciencia.lasalle.edu.co*.
<https://ciencia.lasalle.edu.co/ruls>
- Pereira, L. L., Ferreira, A. P., Vale, W. G., Serique, L. R., Neves, K. A. L., Morini, A. C., Monteiro, B. M., y Minervino, A. H. H. (2018). Effect of body condition score and reuse of progesterone-releasing intravaginal devices on conception rate following timed artificial insemination in Nelore cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 53(3), 624–628.
<https://doi.org/10.1111/rda.13150>
- Pfeifer, L., Castro, N., Melo, V., Neves, P., Cestaro, J., y Schneider, A. (2015). Timed artificial insemination in blocks: a new alternative to improve fertility in lactating beef cows. *animal reproduction science*, 163, 89–96. <https://doi.org/10.1071/rdv27n1ab9>
- Pontes, J. H. F., Melo Sterza, F. A., Basso, A. C., Ferreira, C. R., Sanches, B. V., Rubin, K. C. P., y Seneda, M. M. (2011). Ovum pick up, in vitro embryo production, and pregnancy rates

from a large-scale commercial program using Nelore cattle (*Bos indicus*) donors.

Theriogenology, 75(9), 1640–1646. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.12.026>

Prada, J., Castro, J., Ardila, A., y Chacon, J. (2013). Evaluación de un protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) con variaciones en los días de aplicada la dosis de prostaglandina, en novillas brahmán pura y cruzada de la finca San Miguel – Barranca de Upía (Meta). *Rev Cien Anim*, 6, 161–175.

https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_ciencias_veterinarias/13/

Pugliesi, G., Santos, F., Lopes, E., Nogueira, É., Maio, J., y Binelli, M. (2016). Improved fertility in suckled beef cows ovulating large follicles or supplemented with long-acting progesterone after timed-AI. *Theriogenology*, 85(7), 1239–1248.

<https://doi.org/10.1071/RDv27n1Ab11>

Ribeiro, E. S., Bisinotto, R. S., Lima, F. S., Greco, L. F., Morrison, A., Kumar, A., Thatcher, W. W., y Santos, J. E. P. (2014). Plasma anti-Müllerian hormone in adult dairy cows and associations with fertility. *Journal of Dairy Science*, 97(11), 6888–6900.

<https://doi.org/10.3168/jds.2014-7908>

Roche, J., Burke, C., Crookenden, M., Reproduction, A. H., Fertility, U., y 2018, U. (2018). Fertility and the transition dairy cow. *Reproduction, Fertility and Development*, 30(1), 85–100. <http://www.publish.csiro.au/rd/RD17412>

Sá Filho, M., Crespilho, A. M., Santos, J. E. P., Perry, G. A., y Baruselli, P. S. (2010). Ovarian follicle diameter at timed insemination and estrous response influence likelihood of ovulation and pregnancy after estrous synchronization with progesterone or progestin-based protocols in suckled *Bos indicus* cows. *Animal Reproduction Science*, 120, 23–30.

<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.03.007>

Sales, J., Neves, K., Souza, A., y Crepaldi, G. (2011). Timing of insemination and fertility in dairy and beef cattle receiving timed artificial insemination using sex-sorted sperm.

Theriogenology, 76(3), 427–435.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X11001014>

Salinas, P., y Matamoros, R. (2017). Neuroendocrinología en la hembra. Primera parte.

Fisiología del hipotálamo e hipófisis. In *academia.Fundamentos de fisiología y endocrinología reproductiva en animales domésticos*edu.

https://www.academia.edu/download/62196293/7._Fundamentos_de_Fisiologia_y_Endocrinologia_Reproductiva_en_Animales_Domesticos20200225-130791-6rqfzy.pdf#page=168

Sanderson, N., Robertson, D., y Newton, H. (2017). Antral follicle count of New Zealand registered angus heifer ovaries and the correlation with fertility outcomes. *Proceedings of the Society of Sheep and Beef Cattle Veterinarians of the New Zealand Veterinary Association*. <http://www.sciquest.org.nz/node/133057>

Santos, G., Silva-Santos, K., Barreiros, T., Morotti, F., Sanches, B., de Moraes, F., Blaschi, W., y Seneda, M. (2016). High numbers of antral follicles are positively associated with in vitro embryo production but not the conception rate for FTAI in Nelore cattle. *Animal Reproduction Science*, 165, 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.11.024>

Sartori, R, y Barros, C. (2011). Reproductive cycles in *Bos indicus* cattle. *Anim Reprod Sci*, 124(3), 244–250. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378432011000352>

Sartori, Roberto, Gimenes, L. U., Monteiro, P. L. J., Melo, L. F., Baruselli, P. S., y Bastos, M. R. (2016). Metabolic and endocrine differences between *Bos taurus* and *Bos indicus* females that impact the interaction of nutrition with reproduction. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.016>

Scaramuzzi, R. J., Baird, D. T., Campbell, B. K., Driancourt, M. E., Dupont, J. A., Fortune F, J. E., Gilchrist G, R. B., Martin H, G. B., McNatty I, K. P., McNeilly J, A. S., Monget, P. A., Monniaux, D. A., Viñoles, C. H., y Webb, R. L. (2011). Regulation of folliculogenesis and the determination of ovulation rate in ruminants. *Reproduction, Fertility and Development*, 23, 444–467. <https://doi.org/10.1071/RD09161>

Silva-Santos, K., Santos, G., Koetz, C., Morotti, F., Siloto, L., Marcantonio, T., Urbano, M.,

- Oliveira, R., Lima, D., y Seneda, M. (2014). Antral Follicle Populations and Embryo Production-In Vitro and In Vivo-of Bos indicus-aurus Donors from Weaning to Yearling Ages Preantnal follicle population in Bos indicus cattle View project Ultrasonografia testicular View project. *Wiley Online Library*, 49(2), 228–232.
<https://doi.org/10.1111/rda.12255>
- Silva-Santos, K., Siloto, L., Santos, G., Morotti, F., Marcantonio, T., y Seneda, M. (2014). Comparison of Antral and Preantral Ovarian Follicle Populations Between Bos indicus and Bos indicus-aurus cows with High or Low Antral Follicles Counts. *Reproduction in Domestic Animals*, 49(1), 48–51. <https://doi.org/10.1111/rda.12222>
- Silva, J. (2015). *Evaluación De Dos Protocolos Para Inseminación Artificial A Tiempo Fijo (IATF) Bajo Condiciones De Trópico Amazónico Colombiano*.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/4198>
- Soca, P., Carriquiry, M., Claramunt, M., Ruprechter, G., y Meikle, A. (2014). Metabolic and endocrine profiles of primiparous beef cows grazing native grassland. 2. Effects of body condition score at calving, type of suckling restriction and. *Animal Production Science*, 54(7), 862–868. <http://www.publish.csiro.au/AN/AN13251>
- Uribe-Velásquez, L., Correa-Orozco, A., Cuartas-Betancurth, L., Villamizar-Ramirez, D., y Ángel-Botero, S. (2013). Evaluation of reused norgestomet implants in estrus synchronization protocols in Brahman cows. *Rev MVZ Córdoba*, 18(1), 3336–3345.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-02682013000100012
- Uribe, F., Zuluaga, A., Valencia, L., y Murgueitio, E. (2011). *Buenas prácticas ganaderas*.
<http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/handle/123456789/2120>
- Vergara, O., Elzo, M., y Cerón-Muñoz, M. (2009). Genetic parameters and genetic trends for age at first calving and calving 1 interval in an Angus-Blanco Orejinegro-Zebu multibreed cattle population in. *Academia.Edu*. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.07.009>
- Villa, N. A., Morales, C. A., Fernando Granada, J., Mesa, H., Gomez, G., y Molina, J. J. (2007).

Evaluation of Four Synchronization Protocols for Fixed-Time Artificial Insemination in Bos indicus Lactating Cows. In *Rev Cien: Vol. 17(5)*.

<https://www.redalyc.org/pdf/959/95917510.pdf>

Walsh, S., Mossa, F., Butler, S., ... D. B.-J. of dairy, y 2014, U. (2014). Heritability and impact of environmental effects during pregnancy on antral follicle count in cattle. *Journal of Dairy Science*, 97(7), 4503–4511.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030214003567>

Wathes, D., Bourne, N., Cheng, Z., Mann, G., Taylor, V., y Coffey, M. (2007). Multiple correlation analyses of metabolic and endocrine profiles with fertility in primiparous and multiparous cows. *Journal of Dairy Science*, 90(3), 1310–1325.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030207716193>

Wathes, D., Cheng, Z., Bourne, N., Taylor, V., Coffey, M., y Brotherstone, S. (2007). Differences between primiparous and multiparous dairy cows in the inter-relationships between metabolic traits, milk yield and body condition score in the periparturient period. *Domestic Animal Endocrinology*, 33, 203–225. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2006.05.004>

Wathes, D., Fenwick, M., Cheng, Z., Bourne, N., Llewellyn, S., Morris, D., Kenny, D., Murphy, J., y Fitzpatrick, R. (2007). Influence of negative energy balance on cyclicity and fertility in the high producing dairy cow. *Theriogenology*, 68(suppl 1).

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.006>