

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

ESCUELA DE ZOOTECNIA

Evaluación de dos protocolos para sincronización de la ovulación e inseminación artificial a tiempo fijo con y sin el uso de estradiol en novillas

María Carolina Guillén Alvarado

Tesis para optar por el título en el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2019

TRIBUNAL EVALUADOR

Esta tesis fue aprobada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

Ing. Roger Eduardo Molina Coto. M.Sc.

Director de Tesis.

Ing. José Ramón Molina Villalobos. Ph.D.

Miembro del Tribunal.

Dr. Josué Varela Mora. Lic.

Miembro del Tribunal.

Ing. Rodolfo WingChing Jones. M.Sc.

Miembro del Tribunal.

Ing. Carlos Arroyo Oquendo. M.Sc.

Director de Escuela de Zootecnia.

Ing. María Carolina Guillén Alvarado. Bach.

Sustentante.

DEDICATORIA

En especial a Dios, que está presente en todo momento y nos motiva a superarnos día con día, brindándonos sabiduría, fortaleza y humildad en todo lo que realizamos.

A mi madre Vilma María Alvarado Miranda, por estar presente en toda mi educación brindándome apoyo a pesar de a veces no tener la confianza en mí misma, ella es el pilar fundamental que hace que me supere día con día.

A mi padre Jorge Enrique Guillén Bustos, por brindarme el apoyo necesario en mis estudios.

A mis hermanos: Carmen Alicia Guillén Alvarado, Jorge Enrique Guillén Alvarado y Laura Cristina Guillén Alvarado, por ser siempre un apoyo en todas las etapas de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme fuerza y sabiduría en cada uno de los caminos que emprendo.

A Roger Eduardo Molina Coto por la confianza brindada, paciencia y perseverancia para el desarrollo de esta tesis.

A la empresa Cargill por brindar el 50% del alimento balanceado del programa Nova de Aguilar & Solís.

A la empresa DSM por aportar los minerales de la marca Tortuga para este estudio.

Al Centro de Inseminación Artificial de la Dirección de Salud Reproductiva del SENASA en Ochomogo, por donar el semen para la inseminación de las novillas.

A Augusto Rojas Bourrillón, director del CINA, por brindar los análisis de las muestras del pasto King grass, cáscara de banano maduro y banano verde entero.

A Shirley Rojas Salazar por realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos.

A los muchachos que laboran en la Unidad de Reproducción Animal (URA) de la UCR, por estar siempre anuentes a colaborar con este proyecto, haciendo de este tiempo una experiencia grata y llena de aprendizaje.

A las amistades (Andrés Cavanillas, Erick Arce, María José Hernández, Oscar González, Alejandro Rodríguez) y profesores (Carlos Arroyo, Juan Ignacio Herrera, Max Porras) que me brindaron su apoyo para realizar las distintas actividades de dicha tesis.

A los revisores, por su colaboración y dedicación de su tiempo al leer y brindarme una guía y apoyo, para mejorar mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
TRIBUNAL EVALUADOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 General:.....	3
2.2 Específicos:.....	3
3. REVISION DE LITERATURA.....	4
3.1 Generalidades anatómicas del aparato reproductor en hembras bovinas.....	4
3.1.1 Vulva.....	4
3.1.2 Vagina.....	4
3.1.3 Cérvix o cuello del útero.....	4
3.1.4 Útero.....	4
3.1.5 Oviducto.....	5
3.1.6 Ovarios.....	5
3.2 Pubertad en hembras bovinas.....	5
3.2.1 Desarrollo del aparato reproductivo en hembras.....	6
3.2.2 Evaluación del desarrollo reproductivo.....	6
3.2.3 Correlaciones de índices productivos con respecto a la pubertad.....	8
3.2.4 Factores que afectan el momento en que se alcanza la pubertad.....	8
3.3 Fisiología del aparato reproductor en hembras bovinas.....	9
3.3.1 Ciclo estral en la hembra bovina.....	9
3.3.2 Control hormonal del ciclo estral.....	10
3.3.3 Dinámica folicular en la hembra bovina.....	10
3.3.4 Diferencias fisiológicas reproductivas del <i>Bos indicus</i> y <i>Bos taurus</i>	11
3.3.5 Factores que afectan la detección de celo y preñez.....	13
3.4 Inseminación artificial.....	14
3.5 Inseminación artificial a tiempo fijo.....	15
3.5.1 Protocolos de sincronización de la ovulación e IATF.....	16
3.5.2 Función de las hormonas en los protocolos aplicados.....	19
3.6 Restricciones en el uso de productos hormonales en producción bovina.....	20
4. PROCEDIMIENTO Y METODOLOGIA.....	22
4.1 Generalidades de manejo.....	23
4.2 Evaluaciones con ultrasonido.....	25
4.3 Evaluación de concentraciones de progesterona en sangre.....	25
4.4 Protocolos o tratamientos.....	26
4.5 Variables medidas.....	26

CONTENIDO	PÁGINA
4.6	Unidad experimental.....28
4.7	Análisis estadístico28
5.	RESULTADOS Y DISCUSION.....31
5.1	Crecimiento31
5.1.1	Pesaje mensual31
5.1.2	Ganancia diaria de peso.....33
5.1.3	Ganancia de peso total.....34
5.1.4	Condición corporal.....36
5.1.5	Espesor de la grasa dorsal.....36
5.2	Desarrollo del tracto reproductivo.....37
5.2.1	Diámetro del cérvix.....37
5.2.2	Diámetro del cuerno derecho38
5.2.3	Diámetro del ovario derecho y diámetro del ovario izquierdo40
5.2.4	Cantidad y tamaño de folículos42
5.2.5	Diámetro del cuerpo lúteo total.....43
5.2.6	Diámetro del cuerpo lúteo neto44
5.2.7	Ciclicidad45
5.2.8	Textura del útero46
5.2.9	Posición del tracto reproductivo47
5.2.10	Clasificación del tracto reproductivo.....47
5.3	Respuesta ovárica respecto a los protocolos.....48
5.3.1	Cantidad y tamaño de folículos49
5.3.2	Tamaño del folículo pre ovulatorio49
5.3.3	Progesterona al día 7 post inseminación50
5.3.4	Relación de concentraciones de P ₄ con respecto al diagnóstico de preñez51
5.3.5	Correlación DCLT y DCLN51
5.3.6	Temperatura rectal51
5.4	Diagnóstico de preñez.....52
5.5	Relación beneficio-costó57
6.	CONCLUSIONES.....59
7.	RECOMENDACIONES61
8.	BIBLIOGRAFÍA.....62
9.	ANEXO74

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
1	Clasificación del grado de desarrollo reproductivo de las hembras	7
2	Diferencias en la fisiología reproductiva de las distintas subespecies	12
3	Diferencias en la fisiología reproductiva entre vacas lactantes y novillas.....	13
4	Cantidades diarias de los componentes de la dieta brindada a las novillas.....	24
5	Clasificación promediada de la textura del útero para los grupos raciales Brahman y Simbrah F1.	47
6	Posición del tracto reproductivo para los grupos raciales Brahman y Simbrah F1	47
7	Costo de las hormonas utilizadas en los protocolos	57
8	Datos para obtener la relación beneficio-costos para los distintos ensayos según los protocolos	58

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
1	Posición del tracto reproductivo con respecto a la cavidad pélvica	8
2	Temperatura ambiental mensual y promedio durante el tiempo en que se realizó el ensayo. Meses de junio, julio y agosto 2017 sin datos.....	22
3	Humedad relativa mensual y promedio durante el tiempo en que se realizó el ensayo. Meses de junio, julio y agosto 2017 sin datos.....	23
4	Precipitación mensual y promedio durante el tiempo en que se realizó el ensayo. Meses de junio, julio y agosto 2017 sin datos.	23
5	Protocolos utilizados en el experimento, P1 y P2 respectivamente.....	26
6	Curva mensual global de crecimiento de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1	31
7	Curva mensual de crecimiento de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 (mínimos cuadrados promedio \pm error estándar)	32
8	Ganancia diaria de peso promedio mensual de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1.	33
9	Ganancia diaria de peso de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1	34
10	Ganancia de peso total mensual de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1	35
11	Ganancia de peso total mensual de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1	35
12	Condición corporal de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1	36
13	Espesor de la grasa dorsal de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1	37
14	Variación del espesor de la grasa dorsal de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1	37
15	Promedio del diámetro del cérvix de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 (mínimos cuadrados promedio \pm error estándar)	38
16	Diámetro del cuerno derecho de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 (mínimos cuadrados promedio \pm error estándar).....	39
17	Diámetro del cuerno derecho de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1	39

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
18	Diámetro global del ovario derecho e izquierdo de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 (mínimos cuadrados promedio \pm error estándar).....	41
19	Cantidad de folículos totales categorizados en clases de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 desde los 12 hasta 19 meses de edad (TF1: \geq 10 mm, TF2: 6 - 9 mm y TF3: \leq 5 mm).....	43
20	Diámetro del cuerpo lúteo total para los grupos raciales Brahman y Simbrah F1.....	44
21	Diámetro del cuerpo lúteo neto para los grupos raciales Brahman y Simbrah F1.....	45
22	Porcentaje de hembras ciclicando en cada evaluación mensual de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1	45
23	Porcentaje de ciclicidad total de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 a los 19 meses de edad y porcentaje global de ciclicidad.	46
24	Clasificación del tracto reproductivo de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1. RTS 1: Prepuberal (estructuras no palpables), RTS 2: Prepuberal (folículos de 8 mm), RTS 3: Peripuberal (folículos 8 - 10 mm), RTS 4: Puberal (folículos > 10 mm, posible CL) y RTS 5: Puberal (folículos > 10 mm, con CL presente)	48
25	Resultado global del porcentaje de preñez para los distintos diagnósticos de gestación. DP1: diagnóstico de preñez a primer servicio, DP2: diagnóstico de preñez al segundo servicio, DPA: diagnóstico de preñez acumulada.....	53
26	Novillas preñadas y vacías de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 en cada diagnóstico de preñez. DP1: diagnóstico de preñez a primer servicio, DP2: diagnóstico de preñez al segundo servicio, DPA: diagnóstico de preñez acumulada	53
27	Novillas preñadas para los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 en cada diagnóstico de preñez. P1: protocolo con GnRH, P2: protocolo con E2, DP1: diagnóstico de preñez a primer servicio, DP2: diagnóstico de preñez al segundo servicio, DPA: diagnóstico de preñez acumulada	54
28	Total de novillas preñadas por protocolo para cada diagnóstico de preñez. P1: protocolo con GnRH, P2: protocolo con E2, DP1: diagnóstico de preñez a primer servicio, DP2: diagnóstico de preñez al segundo	

FIGURA

TÍTULO

PÁGINA

servicio, DPA: diagnóstico de preñez acumulada55

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
CL	Cuerpo lúteo.
CC	Condición corporal.
DC	Diámetro del cérvix.
DCD	Diámetro del cuerno derecho.
DCLT	Diámetro del cuerpo lúteo total.
DCLN	Diámetro del cuerpo lúteo neto.
DP1	Diagnóstico de preñez al primer servicio.
DP2	Diagnóstico de preñez al segundo servicio.
DPA	Diagnóstico de preñez acumulada.
E ₂	Estrógenos.
EB	Benzoato de estradiol.
eCG	Gonadotropina coriónica equina.
ECP	Cipionato de estradiol.
FD	Folículo dominante.
FSH	Hormona folículo estimulante.
GDP	Ganancia diaria de peso.
GnRH	Hormona liberadora de gonadotropinas.
GPT	Ganancia de peso total.
IA	Inseminación artificial.
IATF	Inseminación artificial a tiempo fijo.
LH	Hormona luteinizante.
P1	Protocolo 1 (Protocolo con GnRH).
P2	Protocolo 2 (Protocolo con E ₂).
P ₄	Progesterona.
PV	Peso vivo.
PGF _{2α}	Prostaglandina F _{2α} .
RT	Tracto reproductivo.

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
RTS	Clasificación del tracto reproductivo.
SPS1	Tracto reproductivo completo está dentro de la cavidad pélvica.
SPS2	Tracto reproductivo específicamente el cérvix está dentro de la cavidad pélvica, pero los cuernos uterinos están fuera de la cavidad.
SPS3	Tracto reproductivo donde el cuello uterino como los cuernos están fuera de la cavidad pélvica.
TFPO	Tamaño del folículo pre ovulatorio.
TU	Textura del útero.
TF1	Total folículos clase 1 (≥ 10 mm).
TF2	Total folículos clase 2 (6 – 9 mm).
TF3	Total folículos clase 3 (≤ 5 mm).
TR	Temperatura rectal.

RESUMEN

Se realizó una investigación comparativa de dos protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), con y sin el uso de estradiol, mediante la valoración de su respuesta ovárica por medio de ultrasonidos y niveles de progesterona en sangre. Dicha investigación se llevó a cabo de marzo 2017 a julio 2018, en la Finca de Producción Animal de la Escuela de Zootecnia, de la Universidad de Costa Rica, ubicada en Guápiles, Pococí, Limón.

El estudio incluyó 60 animales, 30 pertenecientes a la raza Brahman y 30 al grupo racial Simbrah F1, con una edad promedio de 8 meses y un peso promedio de 220 kg (203 kg para Brahman y 238 kg para Simbrah F1). Dichos animales se estabularon en 10 corrales, distribuidos 6 individuos por corral, según grupo racial y estratos de peso. Todos permanecieron bajo las mismas condiciones de manejo y alimentación.

Se realizaron pesajes mensuales desde la llegada de los animales hasta los 19 meses de edad, donde se obtuvo un mayor peso para los animales Simbrah F1 ($p=0,0026$), por ende una superioridad aproximada de 50 kg en promedio en ganancia de peso total (GPT) con respecto a los Brahman.

Se evaluaron las reservas corporales mediante una escala de 1 a 5, aumentaron respecto al tiempo, además, se midió la grasa dorsal mediante ultrasonido, obteniendo un promedio de 6,5 mm con un rango de 4,3 a 10,2 mm.

Se realizaron ultrasonidos trans rectales a partir de los 12 meses de edad, para evaluar el desarrollo del tracto reproductivo, se obtuvo un incremento de las mismas conforme aumentaba la edad para todas las variables (diámetro del cérvix (DC), diámetro del cuerno derecho (DCD), diámetro del ovario derecho (DOD), diámetro del ovario izquierdo (DOI), cantidad de folículos clasificados en categorías según su tamaño (TF1, TF2, TF3), diámetro del cuerpo lúteo total (DCLT) y diámetro del cuerpo lúteo neto (DCLN) en ambos grupos raciales.

Además, el grupo racial tuvo influencia sobre el diámetro del cérvix (DC) ($p=0,028$), diámetro del cuerno derecho (DCD) ($p=0,0037$) y diámetro del cuerpo lúteo neto (DCLN) ($p=0,0303$); mientras que no se encontró diferencia para el diámetro del ovario derecho (DOD) ($p=0,1101$), diámetro del ovario izquierdo (DOI) ($p=0,3399$), diámetro del cuerpo lúteo total (DCLT) ($p=0,9978$), ni la cantidad de folículos (TF1, TF2 y TF3) ($p=0,6941$), ($p=0,0967$) y ($p=0,5595$) respectivamente.

Cuando el 67% de los animales estuvieron ciclando y tenía un mínimo de 70% del peso vivo (PV) adulto, se distribuyeron en los 2 protocolos para IATF, se tomó en cuenta la

ciclicidad, grado de desarrollo reproductivo y peso. Se realizaron ultrasonografías los días de aplicación de hormonales y 7 días post inseminación artificial (IA) para conocer la dinámica folicular como respuesta a los tratamientos; así mismo, se tomaron muestras de sangre para evaluar las concentraciones de P_4 en sangre, obteniéndose una influencia por parte del tratamiento sobre el total de folículos clase 3 (TF3) ($p=0,0413$), lo que indica que los animales tratados con estrógenos (E_2) presentaron más cantidad de folículos de clase 3 que los tratados con GnRH, también el tratamiento tuvo influencia sobre el total de folículos clase 1 (TF1) ($p=0,0295$), lo que quiere decir que los animales tratados con el P2 (protocolo con E_2) presentaron menos folículos de clase 1 que los tratados con el P1 (protocolo con GnRH), además presentó diferencia en cuanto a niveles de progesterona (P_4) ($p=0,0307$), lo que indica que a mayor cantidad de P_4 se van a presentar menos folículos de clase 1.

El tratamiento, grupo racial y tamaño del folículo pre ovulatorio (TFPO) no tuvo influencia sobre las concentraciones de P_4 ($p=0,9737$), ($p=0,8857$) y ($p=0,8505$) respectivamente. También el TFPO no tuvo influencia respecto a la ciclicidad ($p=0,0896$) ni sobre los diagnósticos de preñez (DP1, DP2, DPA) ($p=0,2618$), ($p=0,2996$), ($p=0,9789$) respectivamente. El tratamiento ($p=0,3483$) y el grupo racial ($p=0,7834$) no influyó sobre los niveles de P_4 , mientras que el diámetro del cuerpo lúteo total (DCLT) ($p=0,0028$) y el diámetro del cuerpo lúteo neto (DCLN) ($p=0,0113$) si presentaron diferencia en cuanto a los niveles de P_4 . Tampoco hubo diferencias para ninguno de los diagnósticos de preñez (DP1, DP2 y DPA), ($p=0,2345$), ($p=0,238$), ($p=0,1009$) respectivamente, ni para tratamiento ($p=0,7058$), ($p=0,8735$) y ($p=0,9337$) ni grupo racial ($p=0,6577$), ($p=0,5086$) y ($p=0,4462$).

El diagnóstico de preñez se realizó a los 35 días post inseminación, donde las novillas vacías se resincronizaron con el mismo protocolo utilizado en cada animal al primer servicio. Para el DP1 solo se preñaron animales pertenecientes al grupo racial Simbrah F1, el DP2, no fue afectado por el grupo racial ($p=0,1697$), ni tratamiento ($p=0,2983$) y el DPA fue afectado por el grupo racial ($p=0,0169$), las novillas Brahman tienen 86,46% menos de probabilidad de quedar preñadas que las Simbrah F1, sin embargo el DPA no fue afectado por el tratamiento ($p=0,3965$).

Este estudio evidenció el mejor desempeño a nivel de crecimiento y desarrollo de estructuras reproductivas de las novillas del cruce Simbrah F1 comparado con las novillas Brahman puras. Además, de los protocolos analizados, tanto el protocolo a base de GnRH como el de E_2 , tuvieron igual desempeño a nivel de actividad ovárica, de igual manera, el desempeño en la tasa de preñez de ambos fue similar, constituyendo ambos alternativas para el manejo reproductivo en novillas para carne.

1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, el 47,1% del territorio nacional es dedicado a las actividades agropecuarias, donde el uso del suelo para producción de ganado vacuno representa el 28,5% (INEC 2014). Lo que implica una actividad socioeconómica importante para el país, al generar trabajo y alimentos para la población (Holmann *et al.* 2007). Sin embargo, los parámetros productivos y reproductivos son bajos, pesos al destete de 178,1 kg/animal (107 - 283 kg), edad a primer parto de 31 meses (22 - 62 meses), intervalo entre partos de 454,6 días (294 - 1111 días) y periodo abierto de 176,8 días (20 - 828 días) (WingChing-Jones 2017).

La situación económica actual requiere de explotaciones eficientes, donde el manejo reproductivo es fundamental en los hatos bovinos lecheros y cárnicos. La reproducción eficiente busca preñar los animales lo más rápido posible, posterior al periodo de espera voluntario después del parto, para reducir el intervalo entre partos y obtener el ideal del ternero al año. Esto implica que la vaca se debe preñar como máximo a los 82 días post parto, considerando 283 días de gestación (Cutaia 2005). No obstante, esto muchas veces no ocurre, debido a múltiples factores, entre ellos, ineficiente detección de celo, deficiencias nutricionales, disminución de fertilidad de las vacas por alta producción y estrés calórico en las regiones tropicales o subtropicales (Huanca 2001, Cutaia y Bó 2002).

La detección de celo es una limitante en la tasa de servicio y por tanto, de la eficiencia reproductiva, por lo que se implementan múltiples estrategias para mejorar la detección, entre estas: aumento de observaciones visuales, uso de pintura en la grupa, toros desviados, chinball, hembras androgenizadas marcadoras, palpación rectal, parches, podómetros, collares, kits de progesterona en leche y monitores de actividad. Sin embargo, a pesar de las ayudas existentes, la detección de celo sigue siendo un problema en las explotaciones ganaderas (Catalano y Callejas 2001, Cutaia y Bó 2002, Bertin 2008).

La inseminación artificial (IA) tiene como objetivo principal la mejora genética, ya que difunde rápidamente genes de alto valor dentro de la población, siendo una tecnología de bajo costo y exitosa (Vishwanath 2003, Giraldo 2007). Sin embargo, esta depende de la detección de celo, por lo que surge la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), la cual, en principio, no requiere de la detección de celos, lo que implica un aumento en la tasa de servicio y preñez (Cutaia 2005, Bó *et al.* 2008). Además, existen otras biotecnologías que

han tomado importancia en las últimas décadas, como la transferencia de embriones *in vivo* e *in vitro*, que propician un rápido mejoramiento genético (Carballo 2012).

En la actualidad, existen muchos tratamientos disponibles para sincronización de la ovulación e IATF en novillas, vacas secas o vacas con cría, tanto para ganado de leche como de carne. Algunos utilizan un dispositivo intravaginal con progesterona (P_4), además del uso de hormonas de aplicación intramuscular como prostaglandina ($PGF_{2\alpha}$), benzoato de estradiol (EB), cipionato de estradiol (ECP), valerato de estradiol (EV), hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y gonadotropina coriónica equina (eCG) principalmente; esto para controlar el momento de la ovulación, obteniéndose alrededor del 50% de preñez (Cutaia 2006).

A pesar de las bondades del estradiol para la sincronización de estro, su uso se convirtió en un tema controversial, debido a que le atribuyen cierto riesgo para la salud pública, por lo tanto, en Estados Unidos y el continente europeo está prohibido el uso de protocolos para sincronización de la ovulación con estradiol (Romero y Romero 2012). Por ejemplo, se ha asociado el consumo de productos de origen animal como las carnes, leche y sus derivados con la incidencia de cáncer de seno, útero y ovario, lo cual, es asociado con los remanentes hormonales sean endógenos o exógenos que dichos alimentos contengan (Ganmaa y Sato 2005).

Con la idea de minimizar los riesgos para la salud humana por el uso de ciertos esteroides, la Unión Europea, desde 1981 eliminó el uso de compuestos estrogénicos utilizados como promotores de crecimiento en ganado de carne, posteriormente, a partir de octubre del 2006, restringió por completo el uso de $17\text{-}\beta\text{-estradiol}$ y sus derivados en protocolos de sincronización de la ovulación en ganado de carne o leche (Lane *et al.* 2008). En regiones como Centro y Sur América se sigue haciendo uso de estos esteroides como reguladores del ciclo estral (Prieto *et al.* 2016); sin embargo, existen en el mercado muchas alternativas para sincronización del estro que no utilizan estrógenos o sus derivados (DCRC 2017).

En Costa Rica, el uso de protocolos con estradiol no es restringido, sin embargo, es probable que, en un futuro se limite su uso, ya sea por razones comerciales o de salud pública. En ese caso, sería necesario trabajar únicamente con protocolos libres de estradiol, en esta investigación se evaluará el desempeño de ambos tipos de protocolos bajo las condiciones de un sistema estabulado con novillas, con el objetivo de generar información para que los ganaderos dispongan de alternativas para el manejo reproductivo de sus hatos.

2. OBJETIVOS

2.1 General:

Evaluar el desempeño de dos protocolos de sincronización de la ovulación para inseminación artificial a tiempo fijo con y sin el uso de estradiol, para generar información objetiva sobre las alternativas que existen para el manejo reproductivo en ganado de carne en el trópico.

2.2 Específicos:

- 2.2.1 Evaluar el desarrollo de las novillas bajo las mismas condiciones ambientales para asignarlas a los protocolos de sincronización e inseminación artificial a tiempo fijo.
- 2.2.2 Evaluar, por medio de ultrasonografía y niveles de progesterona en sangre, la respuesta ovárica de las novillas ante la sincronización con y sin el uso de estradiol.
- 2.2.3 Valorar el efecto de los diferentes protocolos de sincronización sobre la preñez a primer y segundo servicio en las novillas.
- 2.2.4 Estimar la relación beneficio-costos por tratamiento y vaca preñada a primer servicio

3. REVISION DE LITERATURA

3.1 Generalidades anatómicas del aparato reproductor en hembras bovinas

Los órganos del aparato reproductor de la hembra incluyen la vulva, vagina, cérvix, útero, oviductos y ovarios, los cuales se describirán a continuación de forma caudal a craneal.

3.1.1 Vulva

Es la parte posterior del aparato genital, la cual comprende el vestíbulo vaginal y los labios vulvares (Brito 2009), su principal función es la protección de las estructuras internas del sistema reproductor (Rivera 2009).

3.1.2 Vagina

Se extiende desde el cuello del útero o cérvix hasta el vestíbulo, siendo el órgano copulatorio en el cual se deposita el semen durante condiciones de monta natural (Hafez y Hafez 2002, Brito 2009).

3.1.3 Cérvix o cuello del útero

Es un esfínter fibroso formado por tejido conectivo y muscular liso, situado entre el útero y la vagina, presenta forma cilíndrica, con paredes gruesas y prominencias transversas conocidas como anillos cervicales (Brito 2009).

Esta estructura varía en tamaño, según la edad, etapa productiva y número de partos; en novillas tiene una longitud de 8 - 10 cm y de 1,2 - 2 cm de ancho, en vacas varía de 10 - 15 cm de longitud y de 3 - 5 cm de ancho; sin embargo, las vacas Cebú y sus mestizas desarrollan un mayor grosor del cérvix, por hipertrofia del tejido colágeno (Brito 2009).

Entre sus funciones se pueden mencionar: facilitar el transporte de espermatozoides hacia el útero por medio del moco cervical, actuar como depósito de espermatozoides, selección de espermatozoides viables y evitar la entrada de agentes externos al útero para evitar contaminaciones; durante la preñez se forma un tapón de moco para aislar el feto del medio exterior (Hafez y Hafez 2002, Rivera 2009).

3.1.4 Útero

Consta de dos cuernos uterinos y un cuerpo. En vacas, el útero es bicornual, donde los cuernos son separados por un tabique y un cuerpo uterino que varía entre 3 - 4 cm de longitud (Hafez y Hafez 2002, Orellana y Peralta 2007).

El útero tiene varias funciones como el transporte de espermatozoides hasta el oviducto donde se da la fecundación, regulación del funcionamiento del cuerpo lúteo (CL) e inicio de la implantación, preñez y parto (Hafez y Hafez 2002).

3.1.5 Oviducto

Son dos tubos flexuosos, formados por cuatro segmentos: fimbria que es el encargado de capturar el óvulo una vez que se dé la ovulación, el infundíbulo que tiene forma de embudo, la ampolla e istmo.

Tienen una longitud de 20 - 30 cm que van desde las extremidades de los cuernos hasta los ovarios y se encargan de la captación del óvulo y su conducción hasta el útero (Hafez y Hafez 2002, Brito 2009).

3.1.6 Ovarios

Los ovarios en las vacas muestran forma ovalada, miden entre 3,5 - 4 cm de longitud, 2,5 cm de ancho, con un peso de 15 - 20 g, sin embargo, el tamaño es influenciado por las estructuras presentes, principalmente por la presencia o no de CL y su tamaño (Orellana y Peralta 2007).

Poseen funciones como la liberación de óvulos y producción de hormonas; además, están constituidos por corteza (capa externa) y médula (región interna). La médula consiste en un tejido conectivo fibroelástico y amplios sistemas de vascularización y nervios; mientras que la corteza presenta estructuras como los folículos y cuerpos lúteos en distintas etapas de desarrollo (Hafez y Hafez 2002, Brito 2009).

3.2 Pubertad en hembras bovinas

El inicio del ciclo estral ocurre cuando se llega a la pubertad, la cual se define como el momento en que el animal es capaz de reproducirse fisiológicamente, por lo tanto, ocurre cuando se da la primera manifestación de celo, acompañada por la ovulación y posterior desarrollo de un CL (Ballent *et al.* 2003). Por otra parte, la madurez sexual es una definición zootécnica, ocurre cuando el animal puede llevar a cabo una concepción factible, tanto física como fisiológicamente (Araujo 2004).

Sin embargo, existen los celos no puberales donde las novillas manifiestan el celo, pero no es seguido de una ovulación y posterior formación del CL (Bastidas-Mendoza 1999). Así mismo, se da la ovulación silenciosa (sin expresión de celo) la cual es común entre los 7 - 10 días antes del primer estro ovulatorio post parto (Atkins *et al.* 2013).

3.2.1 Desarrollo del aparato reproductivo en hembras

Conforme se avanza en la edad de la hembra, se va generando un desarrollo corporal y del aparato reproductivo, en el cual hay ciertos periodos donde se da un mayor incremento de distintos órganos, siendo así, el útero aumenta de 9 - 14 mm desde la segunda semana de vida hasta los 2,5 meses, luego su crecimiento es más lento, a los 6 meses tiene un diámetro aproximado de 16 mm y aumenta nuevamente entre los 8 y 15 meses de edad presentando un diámetro de 21 mm, este crecimiento tiene una correlación con la secreción de estrógenos (E₂) de los folículos de mayor tamaño generando el crecimiento y desarrollo del útero (Honaramooz *et al.* 2004). La longitud y el peso del útero también aumentan del nacimiento a los 12 meses de edad (desde 7,7 cm y 6 g a 24,3 cm y 150 g respectivamente) (Atkins *et al.* 2013).

También se da un aumento en el peso ovárico durante los primeros 5 meses de vida y luego de los 8 a 12 meses de edad (Atkins *et al.* 2013), la longitud y diámetro del ovario aumenta desde la segunda semana de vida hasta los 3,5 meses, aumentando la longitud nuevamente de los 8,5 - 15 meses y el diámetro de los 7,5 - 11 meses de edad (Honaramooz *et al.* 2004). Además, entre los 1,5 - 3,5 meses de edad se da un aumento en el número de folículos ≥ 3 mm, así mismo, el tamaño de los folículos y el número de folículos antrales aumentan mientras la novilla madura, lo que comprende un periodo de 1,5 - 15 meses de edad (Honaramooz *et al.* 2004).

3.2.2 Evaluación del desarrollo reproductivo

La palpación rectal es una técnica utilizada para diagnosticar preñez, además, ayuda a descartar hembras con anomalías reproductivas, también es empleada para determinar y clasificar el grado de desarrollo reproductivo, con el fin de establecer si la novilla entra o no a servicio, eliminar animales con algún problema reproductivo que no quedarían preñados, o descartar hembras que van a ser incorporadas en programas de IATF (Butler *et al.* 2015).

Por medio de la palpación surge la clasificación del tracto reproductivo (RTS), el cual determina el estado del tracto reproductivo de las novillas antes de la temporada de reproducción. También es utilizado como indicador de las necesidades nutricionales y como herramienta de selección para edad a pubertad (Holm 2013).

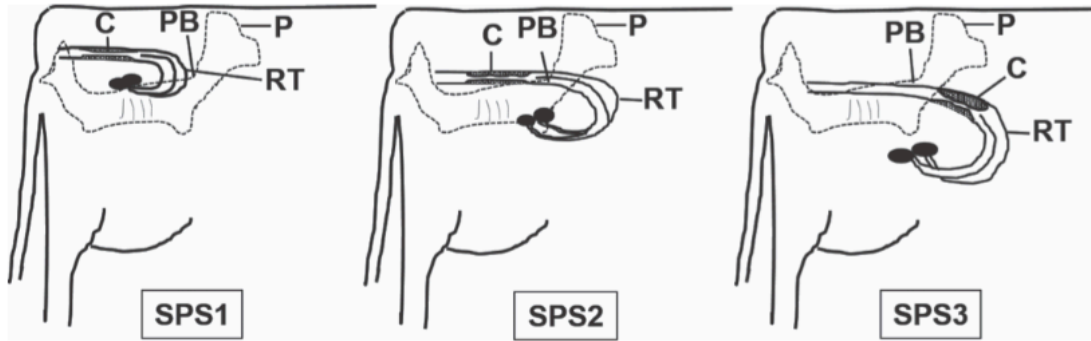
El RTS se basa en la determinación del diámetro y tono uterino, además del tamaño y presencia de estructuras ováricas, mediante una escala del 1 al 5 (Cuadro 1) (Robson *et al.* 2007).

Cuadro 1. Clasificación del grado de desarrollo reproductivo de las hembras

Categoría	Clasificación	Cuernos uterinos	Ovarios			
			Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho (mm)	Estructuras ováricas
1	Prepuberal	Inmaduro < 20 mm de diámetro, sin tono	15	10	8	Estructuras no palpables
2	Prepuberal	20 - 25 mm de diámetro, sin tono	18	12	10	Folículos de 8 mm
3	Peripuberal	25 - 30 mm de diámetro, ligero tono	22	15	10	Folículos 8 - 10 mm
4	Puberal	30 mm de diámetro, buen tono	30	16	12	Folículos > 10 mm, posible CL
5	Puberal	> 30 mm de diámetro, buen tono y firme	>32	20	15	Folículos > 10 mm, con CL presente

Fuente: Adaptado de Holm *et al.* (2009), Atkins *et al.* (2013), Kasimanickam *et al.* (2016).

De igual forma, se puede dar una puntuación según la posición del tracto reproductivo con respecto a la cavidad pélvica (Figura 1), donde SPS1 significa que el tracto reproductivo completo está dentro de la cavidad pélvica, SPS2 indica que el tracto reproductivo específicamente el cérvix está dentro de la cavidad pélvica, pero los cuernos uterinos están fuera de la cavidad y SPS3 expresa los tractos reproductivos donde tanto el cuello uterino como los cuernos están fuera de la cavidad pélvica y los números representan el tamaño del tracto reproductivo, siendo 1 pequeño y compacto, 2 intermedio y 3 grande. Además, se debe medir el diámetro de cada cuerno (2 cm más allá de la bifurcación) y del cérvix (en el centro) (Young *et al.* 2017).



C: cuello uterino, P: pelvis, RT: tracto reproductivo, PB: borde pélvico.

Figura 1. Posición del tracto reproductivo con respecto a la cavidad pélvica.

Fuente: Young *et al.* (2017).

3.2.3 Correlaciones de índices productivos con respecto a la pubertad

La correlación de la ganancia diaria de peso (GDP) entre el nacimiento y destete, con respecto a la edad a pubertad es de -0,36, lo que indica que a mayor ganancia diaria de peso, menor será la edad al primer celo ovulatorio. Por cada 100 g de incremento en la ganancia diaria desde el nacimiento hasta el destete, implica de 15 - 20 días menos para manifestar el primer celo (pubertad). Así mismo, hay una correlación de 0,37 entre el peso al destete y el peso a pubertad, con una regresión que indica que por cada kilogramo más de peso al destete se obtendrá 0,8 kg más en peso a la pubertad (Bavera 2000).

3.2.4 Factores que afectan el momento en que se alcanza la pubertad

Existen tres factores que afectan el momento en que un animal alcanza la pubertad, como: el peso y la edad, la genética y condiciones climáticas.

El peso y la edad: Para estimar el peso ideal para reproducción, el animal debe alcanzar un 65 % del peso adulto; el peso va de la mano con la nutrición, ya que va a propiciar un correcto desarrollo del individuo tanto en crecimiento corporal como en los órganos reproductivos, el cual es lento en los primeros meses de vida (Araujo 2004).

Las novillas Brahman alcanzan la pubertad a los 18 meses y deberían entrar a servicio con un peso de 320 - 340 kg, lo cual representa entre 60 - 70% del peso adulto (Bastidas-Mendoza 1999). Las razas pertenecientes a la subespecie *Bos taurus* llegan a pubertad entre los 6 - 12 meses de edad, con un peso aproximado de 200 - 250 kg (Forde *et al.* 2011).

Además, existen otros indicadores que están asociados con el peso corporal, como lo es la condición corporal (CC) la cual debe estar entre 3 - 4 preferiblemente, aunque se acepta

superior a 2,5 en una escala de 1 - 5 (Rúgeles 2001, Faure y Morales 2003). El otro indicador es el RTS, el cual debe ser de 4 o superior (Faure y Morales 2003).

Genética: Es otro factor importante, ya que los *Bos taurus* son más precoces que los *Bos indicus*, por lo tanto, los cruces entre razas de ambas subespecies, reducen el tiempo a pubertad con respecto al promedio de las razas progenitoras del *Bos indicus*, además, las razas de menor tamaño llegan a la pubertad antes que las de mayor tamaño. También el inicio de la pubertad se ve afectado por la correlación negativa entre la circunferencia escrotal del padre y sus hijas, mientras mayor sea la circunferencia escrotal del padre, la pubertad de las hijas se presenta a menor edad (Araujo 2004, Vásquez 2017).

Condiciones climáticas: Las altas temperaturas retrasan el inicio de la pubertad, ya que se reduce la producción de E_2 y del consumo de alimento, por lo tanto, un retraso en el crecimiento del animal (Araujo 2004, Vásquez 2017).

3.3 Fisiología del aparato reproductor en hembras bovinas

3.3.1 Ciclo estral en la hembra bovina

El ciclo estral representa el patrón cíclico de la actividad ovárica comprendido entre la aparición del estro y el comienzo del siguiente, propiciando el período de receptividad sexual (celo o estro) por parte de las hembras (Carballo 2012).

La vaca es un animal poliéstrico continuo (cicla durante todo el año); cada ciclo estral varía entre los 18 - 24 días, siendo 21 días el promedio (Forde *et al.* 2011). El celo tiene una duración de 6 a 18 horas con una ovulación alrededor de 24 - 32 horas de iniciado el estro (Sartori y Barros 2011).

El ciclo estral se divide en 4 etapas:

Proestro: Se determina por la desaparición del efecto de la progesterona producida por el CL, generando un inicio en la actividad folicular, esto debido al incremento de la hormona folículo estimulante (FSH) para estimular el crecimiento de folículos y aumentar la síntesis de estrógenos como fase preparatoria para el estro (Brito 2009, Urroz 2010).

Estro: Se caracteriza por la manifestación de la libido y aceptación de la hembra a la monta, debido a elevados niveles de E_2 , durante esta etapa se produce la ovulación (10 - 12 horas después de terminado el estro) (Brito 2009) debido a la caída en los niveles de la hormona FSH y el incremento de la hormona luteinizante (LH) (Frandsen *et al.* 2003).

Metaestro: Se establece la transición de la fase estrogénica a la luteínica mediante la

formación del CL, por lo que los niveles de E_2 disminuyen y los de P_4 aumentan (Frandsen *et al.* 2003) y si el animal fue fecundado se inicia el desarrollo de la gestación (Brito 2009).

Diestro: Es una etapa de reposo sexual, donde prevalece la actividad progesterónica del CL (Brito 2009), sin embargo, si no hay fecundación el CL regresa por acción de la $PGF_{2\alpha}$ liberado por el útero, dando inicio de nuevo al proestro (Urroz 2010).

3.3.2 Control hormonal del ciclo estral

Este ciclo se encuentra regulado por el eje hipotálamo-hipófisis-ovario donde las hormonas actúan como mensajeros, que viajan a través de la sangre a los órganos blanco, para regular las fases del ciclo estral mediante sistemas de retroalimentación positiva y negativa (Callejas 2004, Forde *et al.* 2011).

El hipotálamo, libera GnRH de manera pulsátil, la cual va a actuar sobre la adenohipófisis viajando por el sistema sanguíneo, para regular la secreción de los gonadótropos (productores de LH y FSH), hormonas que propician el desarrollo y crecimiento de folículos en el ovario, induciendo la formación de un folículo dominante (FD) pre ovulatorio, el cual libera E_2 que producen la conducta de celo y que tiene una retroalimentación positiva en el hipotálamo generando un pico de LH que induce la ovulación. Posterior a la ovulación se da la formación del cuerpo hemorrágico y formación del CL, lo que aumenta las concentraciones de P_4 para el establecimiento y mantenimiento de la preñez. Si no se da la preñez, alrededor de los días 16 - 17 del ciclo, se da la liberación de $PGF_{2\alpha}$ por parte del útero, la cual se encarga de la lisis del CL, esto reduce las concentraciones de P_4 y aumenta la secreción de GnRH en el hipotálamo generando un nuevo ciclo (Forde *et al.* 2011, Lucio *et al.* 2016).

3.3.3 Dinámica folicular en la hembra bovina

La dinámica folicular, se refiere al proceso de crecimiento, desarrollo, ovulación y atresia folicular e incluye el desarrollo del folículo dominante pre ovulatorio. Este desarrollo ocurre en forma de ondas (2 - 5 ondas durante el ciclo estral), sin embargo lo normal es que se presenten de 2 - 3 ondas foliculares (Forde *et al.* 2011).

Este inicia con el reclutamiento de una cohorte de 5 - 20 folículos, de un tamaño mayor a 5 mm de diámetro, los cuales son estimulados por la FSH principalmente para su crecimiento, por lo que es una fase que se denomina FSH dependiente, después ocurre la selección de un folículo que se convierte en dominante, con un tamaño de 8,5 mm de diámetro aproximadamente y una diferencia de más de 1,5 mm con el folículo que le sigue en tamaño (Callejas 2004), durante la maduración del FD, se incrementan las

concentraciones de E_2 e inhibina. Estas hormonas suprimen las concentraciones de FSH por medio de retroalimentación negativa, en esta fase, el FD es dependiente de LH. Las células de la granulosa del FD, adquieren receptores de LH, el E_2 genera una retroalimentación positiva sobre el hipotálamo generando un aumento de LH para estimular su maduración final y ovulación. Por su parte, los folículos de menor tamaño son afectados por las bajas concentraciones de FSH, ya que las células de la granulosa de los folículos menores de 6 mm tienen receptores sólo de FSH, por tanto, sufren atresia. Aun así, el FD puede sufrir atresia si no se cuenta con las condiciones adecuadas para que se dé la ovulación, donde es necesario bajas concentración de P_4 para que el folículo maduro ovule (Callejas 2004, Forde *et al.* 2011).

3.3.4 Diferencias fisiológicas reproductivas del *Bos indicus* y *Bos taurus*.

Con el paso del tiempo, las razas pertenecientes a las subespecies *Bos taurus* y *Bos indicus*, se han desarrollado en ambientes diferentes y se han seleccionado para la producción de carne y leche. Debido a esta selección, el *Bos taurus* es eficiente para la ingesta de alimento y producción, pero no están adaptados al trópico, por lo que no expresan su máximo potencial; en contraste, el *Bos indicus* presenta una reducción menos severa en ingesta de alimento, tasas de crecimiento, producción de leche y función reproductiva en condiciones tropicales (Pegorer *et al.* 2007, Sartori *et al.* 2010). Estas diferencias reproductivas de ambas subespecies se aprecian en el Cuadro 2, donde el *Bos Taurus* alcanza la pubertad 8 meses antes, el estro dura 3,4 horas más y tienen más cantidad de folículos y son más grandes con respecto a las hembras *Bos indicus*.

Cuadro 2. Diferencias en la fisiología reproductiva de las distintas subespecies

Característica	<i>Bos taurus</i>	<i>Bos indicus</i>
Pubertad	16 - 18 meses	25 meses
Ciclo estral	21 días	21 días
	Estro 16,3 h	Estro 10,9 - 12,9 h
	2 - 4 onda foliculares	2 - 3 ondas foliculares
	Menor cantidad folículos	Mayor cantidad folículos
Dinámica folicular	Selección de FD de 8 - 9 mm	Selección de FD de 6 - 7 mm
	Folículo ovulatorio 14 - 18 mm	Folículo ovulatorio de 11 - 14 mm
	Diámetro del CL 20 - 30 mm	Diámetro del CL 17 - 21 mm
	Mayores concentraciones séricas de E ₂ y P ₄	Menores concentraciones séricas de E ₂ y P ₄
Estrés térmico	Mas afectación en el área reproductiva	Menos afectación en el área reproductiva

Fuente: Modificado de Sartori *et al.* (2010), Sartori y Barros (2011).

Debido a estas diferencias, en el trópico se implementan los cruces de estas subespecies, obteniendo una respuesta fisiológica intermedia con respecto a la de sus progenitores, mejorando la fertilidad, producción de leche, longevidad, tolerancia térmica y a parásitos, entre otros. No obstante, esto dependerá del porcentaje de sangre que se tenga de cada subespecie, para aprovechar la heterosis (Negussie *et al.* 1999, Nogueira 2004, Grajales *et al.* 2006).

Además de estas diferencias reproductivas entre subespecies, también existen diferencias entre novillas y vacas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diferencias en la fisiología reproductiva entre vacas lactantes y novillas.

Característica	Vaca Lactante	Novilla
Duración del estro	7,3 h	11,3 h
Duración del ciclo estral	22,9 d	20 d
Índice concepción por IA	35%	70%
Índice gemelar	10%	1%
Gestaciones perdidas	20%	5%
Índice de anovulación	20%	Menor a 1
Ciclos con más de dos ondas foliculares	71%	50%
Ovulaciones múltiples	25%	1%
Concentración máxima de estradiol	7,1 pg/ml	9,4 pg/ml

Fuente: Bach (2002).

3.3.5 Factores que afectan la detección de celo y preñez.

Se debe tomar en cuenta que existen distintos factores que afectan la detección de celo y preñez como lo son:

Clima: Los animales expuestos a altas temperaturas y porcentajes de humedad elevados, sufren de estrés calórico, esto provoca una disminución en la duración del celo de entre 5 - 6 horas (Catalano y Callejas 2001), además de una menor intensidad del estro, disminución de las tasas de fertilidad y aumento de pérdidas embrionarias (Lozano *et al.* 2005, Sartori *et al.* 2010).

Componente racial: El ganado Cebú (*Bos indicus*) presenta un celo más corto y menor precocidad que las razas Europeas (*Bos taurus*) (Prada *et al.* 2013), además, en ambas subespecies, un tercio de las hembras empiezan y terminan el comportamiento de celo durante la noche (Pinheiro *et al.* 1998).

Nutrición: Es un factor clave para la llegada de la pubertad y reproducción, ya que la actividad cíclica en la hembra no es prioridad debido a que otras funciones como mantenimiento, crecimiento y producción son prioritarias, como consecuencia, la ciclicidad se expresará cuando exista un balance positivo de cantidad y calidad de la dieta (Catalano y

Callejas 2001, Aban *et al.* 2008).

Además, los animales que no consumen la energía (glucosa o precursores glucogénicos) metabolizable necesaria, generan un aumento en los niveles de cuerpos cetónicos (β -hidroxibutirato) y ácidos grasos no esterificados (por mayor movilización de grasas) que inhiben la producción de LH (Hess *et al.* 2005, Ahmadzadeh *et al.* 2011). Así mismo, al utilizar sus reservas corporales se genera una menor concentración de leptina, retrasando la ciclicidad, ya que no propician su efecto inductor en la secreción de LH (Ball y Peters 2004).

La condición corporal es un indicador del estatus nutricional de los animales; se considera que dentro de una escala de 1 a 5, los animales deben estar en 2,5 ó 3, para obtener porcentajes de preñez cercanos a 52,3% y 57,7% respectivamente mediante IATF (Cutaia *et al.* 2003).

Factor humano: Genera un alto impacto sobre la reproducción. Por ejemplo, la detección de celo visual se limita cuando el encargado de detectar celo no cuenta con el conocimiento necesario, no le dedica el suficiente tiempo (2 - 3 observaciones diarias como mínimo de 40 - 60 minutos cada observación), o si se tienen fallas en la identificación de los animales y carencia de registros (Catalano y Callejas 2001). A mayor detección de celos, mayor tasa de servicio y aumenta el número de preñeces en la finca.

3.4 Inseminación artificial

La inseminación artificial es una biotecnología que difunde genes de alto valor genético, la cual consiste en la aplicación, por métodos artificiales, de semen fresco o congelado en el tracto genital de una hembra, en el momento adecuado para que se dé la fecundación (Giraldo 2007).

Entre las ventajas que aporta la IA se encuentran: acelera la mejora genética mediante un incremento en la frecuencia del uso de sementales probados, mejora el uso del semental, ya que de un eyaculado se puede inseminar a varias hembras, evita la transferencia de enfermedades, evita tener un macho en el hato y su manutención, estimula el uso de registros y facilita la implementación de programas de sincronización y cruces. También presenta desventajas como la detección de celo, inversión y capacitación en esta biotecnología, el uso de termos y el correcto descongelamiento del semen (Giraldo 2007).

Por lo tanto, la IA junto con la sincronización del estro y la ovulación resulta ser una biotecnología eficiente y rentable para propiciar el mejoramiento genético, para cualidades como peso al nacimiento, peso al destete, facilidad de parto, producción láctea y cárnica,

entre otros, además de que elimina el problema de la ineficiente detección de celo en fincas (Cutaia 2005).

3.5 Inseminación artificial a tiempo fijo.

El ciclo estral se puede modificar mediante el uso de hormonas exógenas, esto permite controlar el momento de la ovulación, mediante los distintos protocolos de IATF, la cual permite inseminar un gran número de animales en un periodo corto de tiempo (Colazo 2014).

La IATF permite: evadir la detección de celo, reduce el tiempo de inseminación y encierres (número de veces que los animales ingresan a la manga de manejo), acorta el periodo de anestro post parto, útil en animales con celos silenciosos, aumenta la proporción de vientres que se preñan temprano, aumenta los kilogramos de terneros destetados, mejora la atención de partos al concentrarse en un periodo, se puede hacer uso del destete precoz al obtener terneros más homogéneos y se puede mejorar la utilización del recurso forrajero (Cutaia 2005). Además, se podría tomar como desventaja el costo de las hormonas utilizadas en los protocolos.

Según Cutaia (2005), se deben considerar cinco factores antes de implementar un programa de IATF, entre ellos:

Estado fisiológico de los vientres: Las novillas deben tener por lo menos el 65% de su peso adulto, se debe determinar el grado de desarrollo del tracto reproductivo y deben estar ciclando. Las vacas con cría se deben inseminar después de 60 días post parto, permitiendo una adecuada involución uterina y tomando en cuenta el amamantamiento, ya que este compromete la ciclicidad, debido a que la percepción física, visual y olfatoria tiene un efecto en el sistema neuroendocrino que se encuentra relacionado con la liberación de péptidos opioides endógenos como β -endorfina, prolactina y oxitocina que inhiben el eje hipotálamo-hipófisis-ovario, mediante la supresión de la liberación pulsátil de LH, fallas en ovulación y presencia de anestro post parto prolongados (Yavas y Walton 2000).

Condición corporal: Es otro factor importante, por lo que se debe trabajar con animales con una CC entre 2,5 - 3,5 para obtener buenos resultados de preñez, ya que no se ve afectada la producción de hormonas que regulan el ciclo estral (López 2006).

Instalaciones y el personal: Es uno de los factores primordiales, ya que el tratamiento es estricto en cuanto a tiempo de realización, además se debe generar el menor estrés posible para los animales (Cutaia 2005).

Sanidad: Es importante, ya que del 40 - 50% de las fallas reproductivas se debe a

enfermedades transmisibles, por lo que antes de dichos tratamientos se debe verificar el estado sanitario de los vientres principalmente para enfermedades como Campylobacteriosis, Tricomoniasis, Brucelosis, Lesptospirosis, IBR, Neosporidiosis, Micoplasma, Clamidas, Ureoplasmas y Haemophilus (Cutaia 2005).

Calidad seminal: El semen después de descongelado debería tener como mínimo un 40% de células motiles, una concentración de 5 - 10 millones de células por dosis y la morfología debe presentar un mínimo de 70% de espermatozoides normales, no más de 15 - 20% de defectos en cabezas y del 25% de defectos en cola y acrosoma (Cutaia 2005).

3.5.1 Protocolos de sincronización de la ovulación e IATF

Existen diversos tratamientos para controlar el ciclo estral, estos protocolos utilizan diferentes compuestos con estradiol (EB, ECP o EV) y GnRH principalmente. En el caso de los primeros, los más efectivos son los que utilizan estrógenos y progesterona, mientras que con relación a los segundos, los que combinan GnRH con $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Cutaia 2005).

Prostaglandinas: Su uso es común en la sincronización de la ovulación, sin embargo, presenta la limitante de que los animales deben estar ciclando y en un estadio apropiado del ciclo estral, por lo que se diseñaron distintos protocolos (Colazo *et al.* 2007):

- Tratamiento con 2 dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$, con un intervalo de 10 u 11 días entre las dosis, también hay estudios que indican una concepción más alta con intervalos de 14 días, por la posible presencia de un folículo dominante (Folman *et al.* 1990), para este protocolo se recomienda inseminar los animales que presentan celos con la primera dosis y solo aplicar la segunda dosis a los animales que no presentaron celo, porque depende del momento de la etapa de diestro en que se encuentre, ya que es mayor la respuesta de celo y tasas de concepción en diestro avanzado que respecto al diestro temprano o medio (Diskin *et al.* 2002).
- Otro método es detectar celo e inseminar los animales durante 5 días y tratar con $\text{PGF}_{2\alpha}$ los animales que no entraron en celo y continuar con la detección de celo e IA por 5 - 6 días más.
- Por último, se puede combinar la palpación rectal de las estructuras ováricas y el tratamiento con $\text{PGF}_{2\alpha}$ en los animales que presentan un CL funcional, los cuales entrarían en celo de 2 a 3 días luego de aplicar la hormona.

Otro uso de la prostaglandina es combinándola con estradiol y gonadotropina coriónica humana (hCG), sin embargo, los animales deben tener un CL, a continuación se describen algunos de estos tratamientos:

- Una dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$, posterior a las 12 horas se le aplica 250 UI de hCG además de 1 mg de EB y se insemina a las 48 horas después de la prostaglandina obteniendo preñeces de 57,8% (Lopez-Gatius 2000)
- Dos dosis de prostaglandina, una dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ al día 0 y otra al día 14, en el día 7 se le aplica 1,5 mg de 17β -estradiol y 50 mg de P_4 , se observan por 3 días y se inseminan las que entren en celo y las que no entran en celo se les aplica GnRH el día 18 y se inseminan, obteniendo porcentajes de preñez de 60% en la primera inseminación y una preñez general de 49% (Colazo *et al.* 2007).

Así mismo, las prostaglandinas son utilizadas como parte de protocolos de pre sincronización, ya que presenta varios beneficios: si el animal ovula con el uso de GnRH se da un período de dominancia más corto, lo que genera un ovocito de mejor calidad (más joven) (Astiz y Fargas 2013). Además, si el CL es inducido por protocolos con pre sincronización se genera mayor cantidad de P_4 durante el crecimiento del folículo, lo que propicia un ovocito de buena calidad mejorando la fertilidad (Bisinotto *et al.* 2010, Santos *et al.* 2010).

Progestágenos: Estas suprimen el estro y evita la ovulación, ya que la P_4 reduce la frecuencia de los pulsos de LH, lo que suprime el crecimiento del FD, sin embargo, la P_4 no suprime la secreción de FSH por lo que las ondas foliculares se siguen generando si hay un CL funcional (Savio *et al.* 1993, Bleach *et al.* 2004). Es importante recalcar que los progestágenos son menos eficientes para controlar el ciclo estral que la progesterona endógena (producida por un CL) mediante la supresión de la secreción de LH, lo que genera el desarrollo de folículos persistentes, es decir, ovocitos envejecidos que afectan la fertilidad (Savio *et al.* 1993).

El dispositivo intravaginal es una opción para reducir el problema de los folículos persistentes, donde este debe permanecer en la vagina durante cierto tiempo (varía según el protocolo a usar), además, se aplica $\text{PGF}_{2\alpha}$ 24 horas antes de retirar el dispositivo y la detección de celo inicia 48 horas post retiro del dispositivo (Colazo *et al.* 2007).

Progesterona y estradiol: Antes de la aparición de la $\text{PGF}_{2\alpha}$, el estradiol se utilizaba para

propiciar la liberación endógena de $\text{PGF}_{2\alpha}$ y la luteólisis, por lo que se reduce la probabilidad de generar un folículo persistente (Odde 1990). Otra ventaja del uso de estradiol de acción corta (17β -estradiol) con progestágenos es la regresión folicular, generándose así una nueva onda folicular a los 3 - 5 días posteriores, independientemente del estadio del ciclo estral en que se encuentre el animal al momento del tratamiento (Bo *et al.* 1995).

Así mismo se ha estudiado el uso de otros ésteres de estradiol como el ECP y EV en dosis de 0,5 - 1 mg combinados con progestágenos, los cuales son utilizados eficientemente en protocolos de IATF en novillas de carne y leche (Colazo *et al.* 2005)

GnRH: Esta hormona sintética se utilizó como tratamiento para quistes foliculares a partir de 1970, como sustituto de la hCG, ya que su valor era alto (Drost y Thatcher 1992).

En bovinos con folículos mayores a 10 mm de diámetro, el uso de esta hormona induce su ovulación, con el posterior desarrollo de una nueva onda folicular 2 días después del tratamiento, a los 6 ó 7 días después se aplica $\text{PGF}_{2\alpha}$ que propicia la ovulación del nuevo FD de esa nueva onda y se hace más eficiente si se administra una segunda dosis de GnRH 36 - 48 horas después de la $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Thatcher *et al.* 1993, Pursley *et al.* 1995).

El protocolo base con el uso de GnRH es el Ovsynch, el cual consiste en la aplicación de una inyección de GnRH el día 0, seguida de una dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ al día 7 y una segunda dosis de GnRH al día 9 y se insemina 16 a 22 horas después de aplicar la segunda dosis de GnRH (Stevenson *et al.* 2004, Bó *et al.* 2008). Este protocolo es más eficiente en vacas lecheras en lactancia que en novillas, ya que después de primera inyección de GnRH ovula el 85% de las vacas, pero solo el 54% de las novillas (Colazo *et al.* 2007). Además, el 20% de las novillas presentaron celo antes de la inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ lo que reduce la fertilidad a la IATF (Colazo *et al.* 2007). De igual forma, en otro estudio realizado por Martínez *et al.* (1999) corroboraron que el uso de GnRH provoca la ovulación del FD sólo en el 56% de las novillas, por lo que no promueve de manera uniforme el inicio de una nueva onda folicular, lo que genera bajas tasas de preñez en novillas. Otro factor que influencia la tasa de preñez en este protocolo es el estadio del ciclo estral a la hora de aplicar el protocolo, donde entre los días 1 y 4 ó 13 y 17 del ciclo se obtienen tasas muy bajas con respecto a otros iniciados en otros momentos, con valores de 20 vs 50% respectivamente (Colazo *et al.* 2007); esto debido a que durante el metaestro el FD puede no responder a la dosis inicial de GnRH y se genere la atresia cerca del momento de aplicación de la $\text{PGF}_{2\alpha}$. En los días 13 a 17, el FD de la segunda onda puede que no ovule debido a la primera dosis de GnRH, por lo que la $\text{PGF}_{2\alpha}$ endógena podría causar luteólisis y la ovulación temprana del FD (respecto a la IATF)

causando infertilidad (Colazo *et al.* 2007).

A partir del protocolo Ovsynch se desarrollaron otros tratamientos con ciertas variantes, como es el caso del Cosynch con la diferencia de que se insemina en el mismo momento de la aplicación de la segunda dosis de GnRH (Bó *et al.* 2008). Otra variante es el Ovsynch + dispositivo intravaginal, Cosynch + dispositivo intravaginal, Heatsynch + dispositivo intravaginal los cuales hacen uso del dispositivo intravaginal entre la primera inyección de GnRH y la inyección de PGF_{2α} (Bó *et al.* 2008), la adición de este dispositivo mejora las tasas de preñez en novillas de 39% (Ovsynch) a 68% (Ovsynch + dispositivo intravaginal) (Martinez *et al.* 2002). Además, del uso combinado con sales de estradiol como es el caso del Heatsynch, el cual consiste en la aplicación de una inyección de GnRH el día 0, seguida de una dosis de PGF_{2α} al día 7 y una dosis de ECP al día 8 y se insemina 42 a 50 horas después de aplicar ECP (Stevenson *et al.* 2004).

Con respecto a las variantes en el momento de inseminación, diferentes estudios concuerdan que se obtienen porcentajes de preñez aceptables, inseminando entre un mínimo de 48 horas y un máximo de 62 horas post retiro del dispositivo (Fernandes *et al.* 2001, Ayres *et al.* 2008, Madero *et al.* 2012). Sin embargo, al utilizar ECP algunos animales puede que ovulen antes, lo que puede afectar la preñez (Colazo *et al.* 2003). Un estudio realizado por Bó y Cutaia (2014) corrobora lo mencionado anteriormente, ya que evaluaron el efecto del momento de IATF (48 o 54 h post retiro del dispositivo intravaginal) con respecto a la tasa preñez, donde no se encontraron diferencias significativas (45,5% y 51,4% respectivamente), pero las diferencias numéricas favorecieron a las inseminadas 54 horas post retirado el dispositivo.

3.5.2 Función de las hormonas en los protocolos aplicados

En la IATF la primera dosis de GnRH o E₂ genera la ovulación de los folículos existentes con capacidad ovulatoria, impidiendo la formación de folículos persistentes durante el tiempo de acción del dispositivo intravaginal, mientras que la P₄ proveniente del dispositivo intravaginal provoca la atresia de los folículos en crecimiento. A los 3 - 4 días de la aplicación de GnRH o E₂, se da la ovulación y emergencia de una nueva onda folicular, lo que asegura la presencia de un folículo y un ovocito viable al momento del retiro del dispositivo. El dispositivo sincroniza el desarrollo folicular, ya que simula la función del CL, por lo que permanece de 7 - 8 días en el tracto reproductivo, cuando este es retirado se da una caída en los niveles de P₄, lo que induce al aumento de los niveles de LH, lo que provoca el crecimiento y persistencia del FD, produciendo altas concentraciones de E₂ que propicia la

manifestación de celo y un pico de LH que induce la ovulación y la $\text{PGF}_{2\alpha}$ o su análogo, produce la regresión de algún CL existente provocando una rápida caída de P_4 . La segunda dosis de GnRH o E_2 ocasiona las manifestaciones de celo e induce el pico de LH para que se dé la ovulación del folículo dominante (Bó *et al.* 2008, Uslenghi *et al.* 2010, Bó y Cutaia 2014).

Además, los protocolos que utilizan dispositivo intravaginal permite sincronizar animales cíclicos e inducir desarrollo folicular y ovulación en animales en anestro, sin embargo, la reducción en las tasas de concepción se puede dar debido a que algunas vacas tienen una fase luteal posterior más reducida, lo que genera tasas de concepción menores que en las vacas cíclicas, por lo tanto, el uso del dispositivo mejora la tasa de preñez entre el 6 - 8% (Bó *et al.* 2008, Stevenson *et al.* 2006).

El uso de protocolos de sincronización genera un gran número de encierres (por manejo animal) que pueden provocar estrés y por lo tanto una disminución de la fertilidad y como consecuencia un fracaso de la IATF. Para disminuir el número de encierres el uso del ECP (compuesto de estradiol que genera una respuesta biológica (ovulación) más lenta que el EB), al momento del retiro del dispositivo como reemplazo del EB a las 24 horas, es una alternativa para reducir el número de encierres y que no se vea afectada la preñez (Uslenghi *et al.* 2010, Bó y Cutaia 2014).

3.6 Restricciones en el uso de productos hormonales en producción bovina

En la producción bovina, es común el uso de promotores de crecimiento; que incluyen desde el uso de hormonas sintetizadas por el organismo hasta sustancias sintéticas que aceleran el desarrollo de los animales y mejoran los rendimientos mediante la disminución del tiempo de crecimiento o aumentando la síntesis proteica, sin embargo, los residuos de dichas sustancias pueden quedar en los productos destinados para consumo, generando problemas de salud al ser humano (Fajardo-Zapata *et al.* 2011).

Algunos productos anabólicos utilizados, contienen estradiol, progesterona o sus análogos, los cuales se administran por medio de implantes subcutáneos o inyectados, donde los niveles de la hormona aumentan considerablemente y por lo tanto, los residuos también, por lo que se debe respetar el tiempo de retiro según el tipo de sustancia y la legislación de cada país. En estudios *in vivo*, se ha demostrado rompimientos del ADN y daños oxidativos por el uso del $17\text{-}\beta\text{-estradiol}$, dando como resultado la multiplicación de células que provocan cáncer de mamas (Fajardo-Zapata *et al.* 2011)

Como se mencionó, con la prohibición del uso estrógenos en países de la Unión Europea, Estados Unidos y Nueva Zelanda, debido a que representan un riesgo para la salud pública (Lane *et al.* 2008, Romero y Romero 2012), se puede llegar a prohibir en todo el mundo, lo que lleva a la problemática de la reducción de protocolos que se pueden utilizar para IATF, sin embargo, existen alternativas como lo son los protocolos a base de GnRH, además de que dicho uso podría generar oportunidad de mercado en cuanto a exportación a países que tienen dicha prohibición.

4. PROCEDIMIENTO Y METODOLOGIA

El estudio se realizó en la Finca de Producción Animal de la Escuela de Zootecnia, de la Universidad de Costa Rica, la cual está ubicada en la Estación Experimental los Diamantes. Ésta finca, se desarrolla por el convenio de cooperación INTA - MAG - UCR, se ubica en la provincia de Limón, en el cantón de Pococí, distrito de Guápiles. La posición geográfica de la finca es 10°, 13' latitud Norte y 86°, 46' longitud Oeste, con una altitud de 249 msnm, una temperatura promedio de 24,5 °C, humedad relativa promedio de 82,3% y una precipitación promedio de 321,7 mm mensuales (no había registro de datos para los meses junio, julio y agosto del 2017, por lo que no se presentan en las figuras), esto durante el tiempo en que se realizó el ensayo (INTA 2018), lo cual se aprecia en las Figuras 2, 3 y 4.

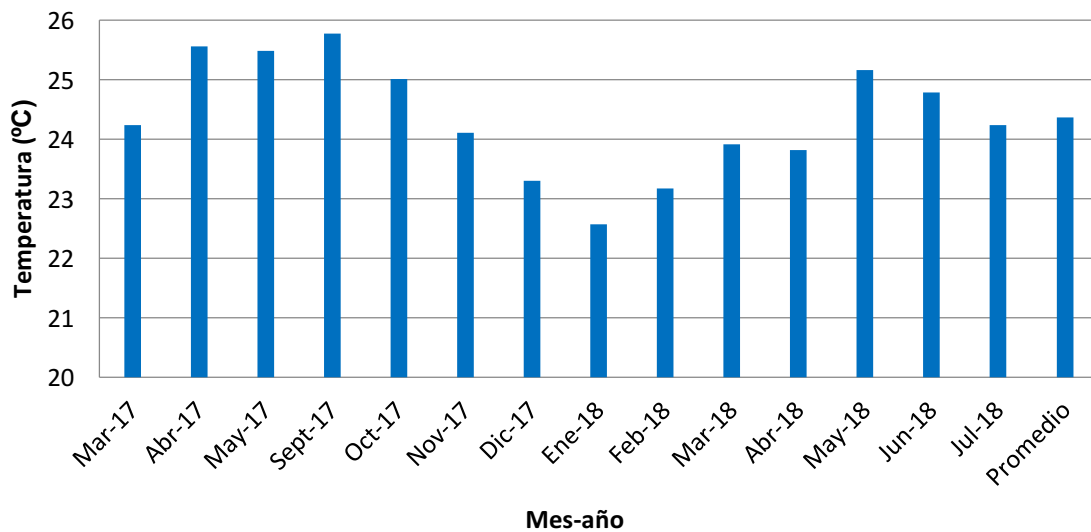


Figura 2. Temperatura ambiental mensual y promedio durante el tiempo en que se realizó el ensayo. Meses de junio, julio y agosto 2017 sin datos.

Fuente: Estación meteorológica CORBANA, La Rita, Pococí, Limón.

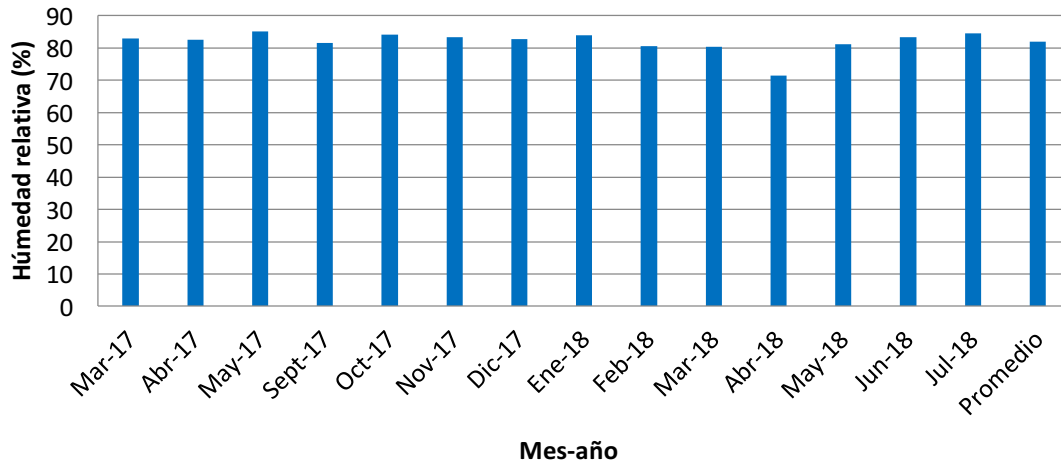


Figura 3. Humedad relativa mensual y promedio durante el tiempo en que se realizó el ensayo. Meses de junio, julio y agosto 2017 sin datos.

Fuente: Estación meteorológica CORBANA, La Rita, Pococí, Limón.

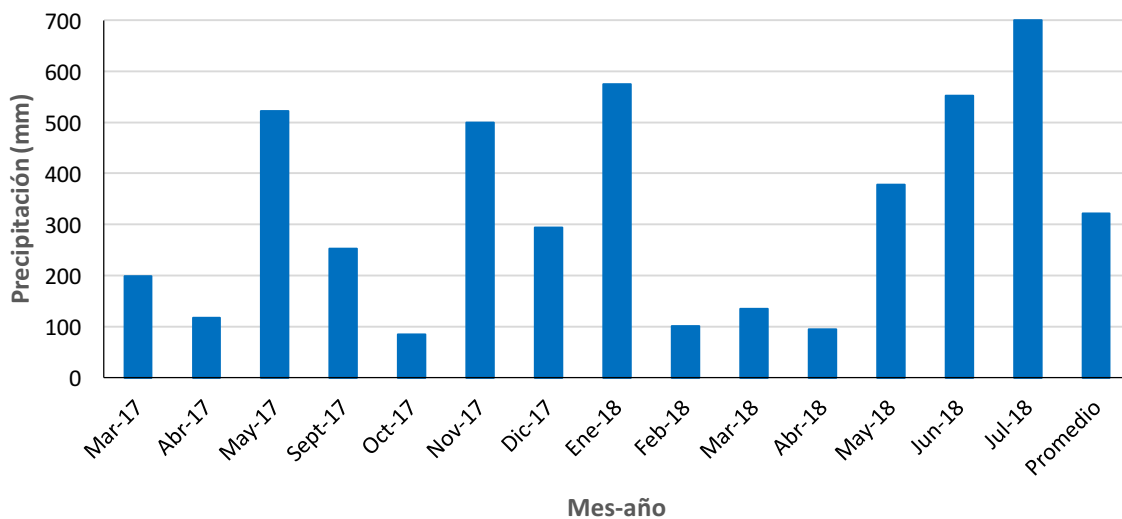


Figura 4. Precipitación mensual y promedio durante el tiempo en que se realizó el ensayo. Meses de junio, julio y agosto 2017 sin datos.

Fuente: Estación meteorológica CORBANA, La Rita, Pococí, Limón.

4.1 Generalidades de manejo

La parte experimental del proyecto se llevó a cabo de marzo del 2017 a julio del 2018. Se ejecutó con un total de 60 animales, 30 pertenecientes al grupo racial Brahman y 30 Simbrah F1 (50% Simmental y 50% Brahman), provenientes de la provincia de Guanacaste. Dichos animales se compraron con una edad de 8 meses y un peso promedio de 220 kg (203 kg para Brahman y 238 kg para Simbrah F1). Durante el experimento, se perdieron dos

animales Simbrah F1, en un caso debido a una quebradura de pata y en el otro a problema de adaptación al establo.

Durante el estudio, las terneras fueron estabuladas en 10 corrales, con un área de 35 m² cada uno, techados en su totalidad, delimitados por tubos metálicos y piso de cemento. Cada corral poseía una canoa para alimentación, así como un salero y una pila para consumo de agua. La distribución fue de 6 animales por corral, la cual se hizo según el grupo racial y estratos de peso, para obtener grupos lo más homogéneos posibles.

Su manejo consistió en una alimentación fraccionada en dos veces al día y un lavado diario de los corrales. Posterior al periodo de adaptación, el cual fue de 15 días, se realizaron pesajes mensuales hasta el momento de servicio, el cual fue a los 19 meses de edad; a partir de los 12 meses de edad se realizó mensualmente evaluaciones ultrasonográficas trans rectales.

Con respecto a la alimentación, todos los animales recibieron la misma dieta, la cual estuvo conformada por pasto picado King Grass (*Pennisetum purpureum*) a los 60 días de edad, banano verde con cáscara, cáscara de banano maduro, alimento balanceado del (crecimiento y reproducción), urea y minerales. El alimento de crecimiento, contenía 16% PC, 3250 Kcal/kg ED, 1,10% Ca y 0,4% P, mientras que el de reproducción varió a 13% PC, 3225 Kcal/kg ED, 1% Ca y 0,4% P. En el Cuadro 4, se muestra la cantidad promedio diaria ofrecida de alimento a los animales, el alimento balanceado de crecimiento se utilizó desde el inicio del experimento hasta los 12 meses de edad y a partir de ahí se utilizó el alimento de reproducción hasta servicio.

Cuadro 4. Cantidades diarias de los componentes de la dieta brindada a las novillas

Alimento	Cantidad ofrecida de materia fresca (kg/día)
Pasto King grass	Libre consumo (5,72)*
Banano verde	Libre consumo
Cáscara de banano maduro	Libre consumo (37,21)*
Concentrado de crecimiento / reproducción	2,5
Urea	0,107 (0,11)*
Minerales	Libre consumo (0,15)*

*Consumos promedios aproximados por animal.

4.2 Evaluaciones con ultrasonido

Se evaluó mediante ultrasonografía el momento en que las novillas llegaron a pubertad (presencia de CL), además de conocer el desarrollo del tracto reproductivo en términos de tamaño y textura de los cuernos uterinos, tamaño, presencia y medidas de las estructuras ováricas (lo cual es conocido como RTS); además de la posición del tracto reproductivo respecto a la cavidad pélvica.

Posteriormente, cuando estuvieron listas para empadrear (67% de los animales ciclando y mínimo 70% de peso vivo adulto) se utilizaron dos tratamientos, con y sin el uso de estradiol, donde los animales fueron distribuidos de la manera más balanceada posible entre los tratamientos, tomando en cuenta ciclicidad, RTS y peso.

Así mismo, durante los días en que se aplicó hormonas y al día 7 post inseminación, en una sub muestra de los animales, se realizó ultrasonografía para conocer la dinámica ovárica como respuesta a los tratamientos. Al día 7 post inseminación también se realizó ecografía para medir la grasa dorsal.

Al día 35 post inseminación (primer o segundo servicio) se realizó el diagnóstico de preñez por medio de ultrasonido a todas las novillas sometidas a los tratamientos; las novillas vacías se resincronizaron con el mismo protocolo utilizado en cada animal para el primer servicio.

4.3 Evaluación de concentraciones de progesterona en sangre

El día de la aplicación de la prostaglandina, el día de inseminación y 7 días después de la inseminación se tomaron muestras de sangre para evaluar las concentraciones de progesterona en sangre como indicador de la respuesta a los protocolos. La sangre se obtuvo por medio de venopunción en la base de la cola, en la vena coccígea o en algunos casos de la vena yugular, mediante el uso de una funda o camisa, aguja para vacutainer (grado 20 de 1 ½ pulgadas) y el tubo vacutainer (siliconizado con activador de coágulo), las cuales se dejaron reposar por 10 - 15 minutos para favorecer la precipitación, posteriormente se centrifugaron durante 15 minutos a una velocidad de 3000 rpm a 60 Hz en una centrifuga modelo DSC-200T, esto para separar el suero, el cual se congeló a -20 °C hasta obtener todas las muestras y enviarlas al Laboratorio de Fisiología de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional para su posterior análisis. En dicho laboratorio, las muestras se analizaron como se indica en un estudio de parámetros sanguíneos y perfil de hormonas reproductivas realizado por Herrera-Vargas *et al.* (2017); estas muestras se

cuantificaron utilizando un equipo automatizado, el cual realiza una detección hormonal por medio de un ensayo basado en la inmunoabsorción ligado a enzimas fluorescentes, las cuales contienen perlas magnetizadas impregnadas con anticuerpos para las hormonas y además, se utilizan enzimas marcadas con un antígeno de interés, (en este caso las hormonas) para realizar la detección y cuantificación, dicha cuantificación se realizó con la medición de la cantidad de enzima que se adhiere a las perlas, la cual es inversamente proporcional a la concentración de la hormona en la muestra.

4.4 Protocolos o tratamientos

Se utilizaron los siguientes protocolos para novillas, debido a que son de duración corta y los días de manejo coinciden, lo que nos permite compararlos:

Protocolo 1 (P1): El día 0 se colocó un dispositivo intravaginal para bovinos, el cual contiene 0,6 g de progesterona. Se aplicó una dosis de 2 ml (0,1 mg) de acetato de gonadorelina, al día 7 se retiró el dispositivo y se inyectó 2 ml (0,15 mg) de cloprostenol, el día 9 se inyectó 2 ml (0,1 mg) de acetato de gonadorelina y se inseminó entre las 51 - 53 horas de retirado el dispositivo.

Protocolo 2 (P2): El día 0 se colocó un dispositivo intravaginal para bovinos, el cual contiene 0,6 g de progesterona y una dosis de 2 ml (2 mg) de benzoato de estradiol (EB), al día 7 se retiró el dispositivo intravaginal, se inyectó 2 ml (0,15 mg) de cloprostenol y una dosis de 1 ml (0,5 mg) de cipionato de estradiol (ECP) y el día 9 se inseminó entre las 51 - 53 horas de retirado el dispositivo.

Dichos protocolos se aprecian en la Figura 5.

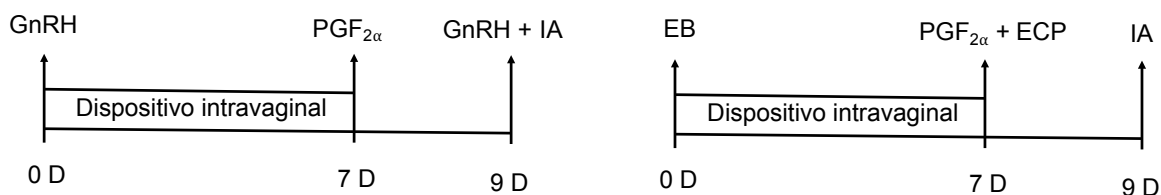


Figura 5. Protocolos utilizados en el experimento, P1 y P2 respectivamente.

Fuente: BRTF (2017), Uslenghi *et al.* (2010).

4.5 Variables medidas

Los datos se obtuvieron de la siguiente manera:

Peso vivo: Desde que llegaron los animales (8 meses de edad) hasta el servicio (19 meses de edad), se pesaron una vez al mes, mediante el uso de una báscula portátil equipada con

barras de carga, esto para obtener ganancias diarias de peso y realizar curvas de crecimiento.

Condición corporal: Se realizaron tres mediciones de CC, a los 12, 15 y 18 meses de edad, mediante un sistema de clasificación de reservas corporales en una escala de 1 a 5.

Espesor de la grasa dorsal: También se midió el espesor de la grasa dorsal (EGD) en mm mediante ultrasonografía entre la 12^a y 13^a costilla sobre el músculo dorsal largo (*longissimus dorsi*), por medio de un escáner de ultrasonido con sonda lineal de 3,5 MHz.

Desarrollo del tracto reproductivo: A partir de los 12 meses de edad de los animales, se realizaron ultrasonografías transrectales de forma mensual, por medio de un escáner de ultrasonido con sonda lineal transrectal de 7,5 MHz, en las cuales se tomaron medidas del diámetro del cérvix (DC) (aproximadamente a la mitad del cérvix), diámetro del cuerno derecho (DCD) (1 - 2 cm de la bifurcación), largo y ancho de ambos ovarios, obteniéndose un promedio de ambas medidas para generar el diámetro del ovario. Además, se determinó el tamaño de estructuras presentes en los ovarios (folículos y cuerpos lúteos), para los folículos se contó el número de estas estructuras en cada ovario y se les midió el diámetro con el caliper del equipo para clasificarlos en tres categorías: F1 (diámetro ≥ 10 mm), F2 (diámetro 9 - 6 mm) y F3 (diámetro ≤ 5 mm); para los cuerpos lúteos se tomaron medidas de largo y ancho y se midió su cavidad cuando la presentó, las medidas se reportan en diámetro promedio total y neto. Dichas medidas se reportaron en milímetros (mm). Así mismo, se midieron otros datos como la temperatura corporal rectal, mediante un termómetro digital, posición del tracto reproductor respecto a la cavidad pélvica y textura del útero por medio de palpación. La información fue recolectada mediante una ficha de campo diseñada para ese fin (Anexo 1).

Respuesta ovárica: Se realizaron ultrasonidos los días en que se aplicaron hormonales, para conocer la dinámica ovárica, además del día 7 post inseminación para evaluar el desarrollo del cuerpo lúteo. También, el día de la aplicación de la prostaglandina, el día de inseminación y 7 días después de la inseminación se tomaron muestras de sangre para evaluar las concentraciones de progesterona en sangre. Los ultrasonidos se realizaron solo en 40 animales (20 Brahman y 20 Simbrah F1), mientras que los sangrados se realizaron a 24 animales (12 Brahman y 12 Simbrah F1), esto debido a la distribución por tratamiento, tiempo y por comportamiento del animal.

Diagnóstico de preñez: Se hizo por medio de ecografía a los 35 días después de la inseminación a primer y segundo servicio. Las novillas vacías, se resincronizaron con el mismo protocolo utilizado en cada animal para el primer servicio.

Relación beneficio-costo: Se realizó la estimación beneficio-costo, por tratamiento y vaca preñada a primer servicio, para obtener los costos para cada protocolo se tomó en cuenta solo los hormonales utilizados, sin incluir la compra de semen, ni mano de obra del inseminador, ni alimentación, ni ningún tipo de mano de obra en general, además, se tomó en cuenta el porcentaje de preñez alcanzado en cada protocolo, para corregir el costo por animal, que pasa de ser servido a preñado; como ingresos (beneficio) se tomó en cuenta que la vaca preñada produce un ternero al destete de 220 kg, el cual se vende a ¢885 por kilogramo de peso vivo (precio promedio en subasta El Blanco S.A. al 18/02/2019, tipo de cambio \$1 = ¢615,12) y se le resta el costo por preñez para obtener los ingresos netos. Y luego se obtiene la relación beneficio-costo mediante una división de los beneficios entre los costos para determinar la viabilidad del proyecto. Debido a los resultados de preñez obtenidos, se evaluó comparativamente con los resultados de otro experimento que utilizaba los mismos protocolos, donde se obtuvieron porcentajes de preñez esperados para la técnica.

4.6 Unidad experimental

La unidad experimental corresponde a cada animal del total de animales utilizados en este ensayo, los cuales se encuentran divididos en 10 corrales, con seis unidades experimentales en cada uno.

4.7 Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante el uso del programa SAS 9.4.

El modelo general es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + r_i + c_j + p_k + e_{ijkl}$$

Y_{ijkl} : Variable.

μ : Media poblacional.

r_i : Efecto del grupo racial.

c_j : Efecto del corral.

p_k : Efecto del protocolo.

e_{ijkl} : Efecto del error.

Adicional a esto, se analizaron las interacciones entre las variables para incluir aquellas que se determinen como fuente de variación.

Para evaluar las diferencias significativas se utilizó la prueba de Tukey-Kramer. Las diferencias significativas se declararán con el valor $P \leq 0,05$ y las tendencias entre 0,06 y 0,1.

El crecimiento se analizó como modelo mixto de distribución normal (tomando en cuenta grupo racial y edad como efectos fijos), para las variables peso, GDP, ganancia de peso total (GPT) y CC, considerando el corral como un efecto aleatorio para controlar que las terneras no se asignaron aleatoriamente y que en cada corral hay un solo grupo racial.

El desarrollo del tracto reproductivo se analizó como modelo mixto de distribución normal, (tomando en cuenta grupo racial y edad como efectos fijos), para las variables DC, DCD, diámetro del ovario derecho (DOD), diámetro del ovario izquierdo (DOI) y diámetro del cuerpo lúteo (DCL). Y como modelo mixto con distribución Poisson, para las variables total folículos clase 1 (TF1) (≥ 10 mm), total folículos clase 2 (TF2) (6 - 9 mm), total folículos clase 3 (TF3) (≤ 5 mm), considerando el corral como un efecto aleatorio.

La respuesta ovárica al protocolo se analizó como modelo mixto de Poisson (tomando en cuenta tratamiento y grupo racial como efectos fijos), para las variables total folículos clase 1 (TF1) (≥ 10 mm), total folículos clase 2 (TF2) (6 - 9 mm), total folículos clase 3 (TF3) (≤ 5 mm). Además, como modelo mixto de distribución normal para el diámetro del cuerpo lúteo total (DCLT), diámetro del cuerpo lúteo neto (DCLN), progesterona (P_4) y tamaño del folículo pre ovulatorio (TFPO) También como modelo mixto binario, para las variables diagnóstico de preñez a primer servicio (DP1), diagnóstico de preñez a segundo servicio (DP2) y

diagnóstico de preñez acumulada (DPA) considerando el corral como un efecto aleatorio.

El diagnóstico de preñez se analizó como variable binaria (tomando en cuenta tratamiento y grupo racial como efectos fijos), por medio de regresión logística.

Así mismo, las variables analizadas que no se apegaron a una distribución normal, fueron convertidas (el modelo mixto de Poisson usa una transformación logarítmica, así mismo, la regresión logística utiliza una transformación logit). La significancia de los efectos sobre las variables se tomaron con los datos convertidos, sin embargo, para no perder la interpretabilidad de los resultados en los gráficos se presentan los datos crudos para las variables que presentaban diferencia estadística. En el caso de los datos no convertidos, se presentan como mínimos cuadrados promedio y error estándar.

Para el segundo servicio no se realizó ninguna medición, puesto que una de las posibles causas de la baja preñez del primer servicio era el estrés extra por muestreo, así que solo se usaron los protocolos para resincronizar las novillas vacías y no se tomaron más mediciones excepto por la preñez al día 35.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Crecimiento

La etapa de crecimiento incluye el análisis de los pesajes mensuales, que se realizaron desde la llegada de las terneras, con una edad aproximadamente de 8 meses hasta los 19 meses, con un periodo de adaptación de 15 días, por lo que los gráficos presentan los datos a partir de los 8,5 meses de edad de los animales; con estas mediciones se obtuvo las GDP y GPT.

5.1.1 Pesaje mensual

El peso aumentó conforme avanzaba la edad de los animales para ambos grupos raciales ($p < 0,0001$), además los animales Simbrah F1 presentaron un mayor peso respecto a los Brahman ($p = 0,0026$).

En la Figura 6, se observa la curva de crecimiento global, con una tendencia lineal, además, se aprecia un aumento de peso conforme avanza la edad de los animales, aumentando 24,73 kg en promedio por mes.

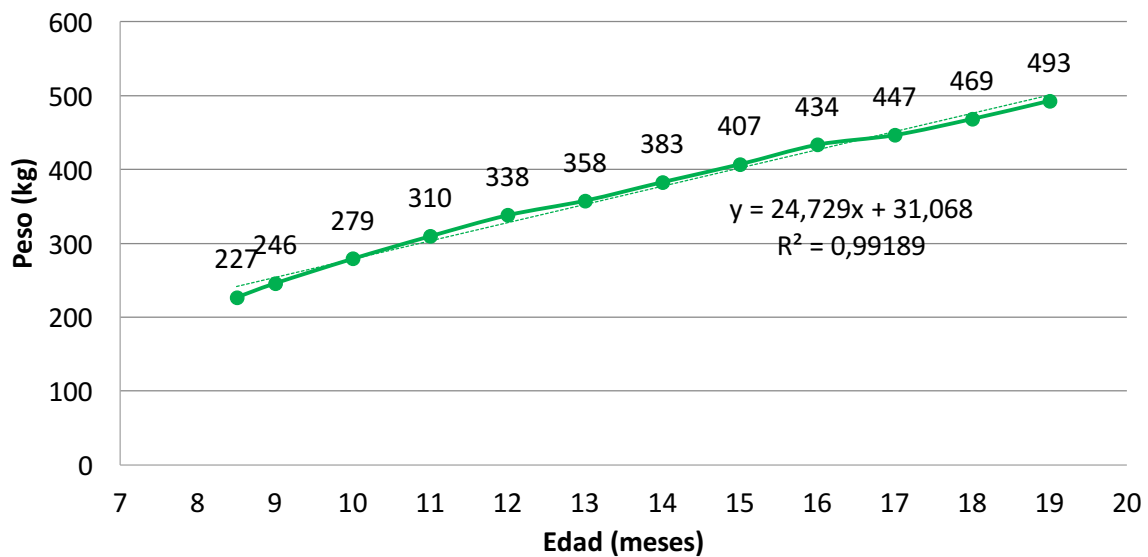


Figura 6. Curva mensual global de crecimiento de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1

Con respecto a la curva de crecimiento global, la cual teóricamente es de forma sigmoidea, se aprecia un comportamiento idóneo, ya que al inicio de vida los animales tienen un elevado potencial de crecimiento, por lo que se aprecia un incremento de peso conforme

aumenta la edad, esto de forma lineal como lo indica Bavera *et al.* (2005). Además, cabe recalcar que la segunda parte de la curva que corresponde al punto de inflexión en adelante no se aprecia en el gráfico, debido a que dichos animales aún están en desarrollo, sin embargo, si se aprecia que conforme aumentan la edad de los animales las ganancias de peso son menores.

En la Figura 7, se aprecia la curva de crecimiento comparativa entre los grupos raciales Brahman y Simbrah F1, donde se observa un aumento de peso conforme avanza la edad de los animales, además, presentan una tendencia lineal. También, se presenta un aumento mensual de peso de 22,46 kg en promedio para los animales Brahman y 26,46 kg para los Simbrah F1. Así mismo, los animales Simbrah F1 a lo largo del tiempo fueron 50 kg en promedio más pesado que los Brahman para una misma edad.

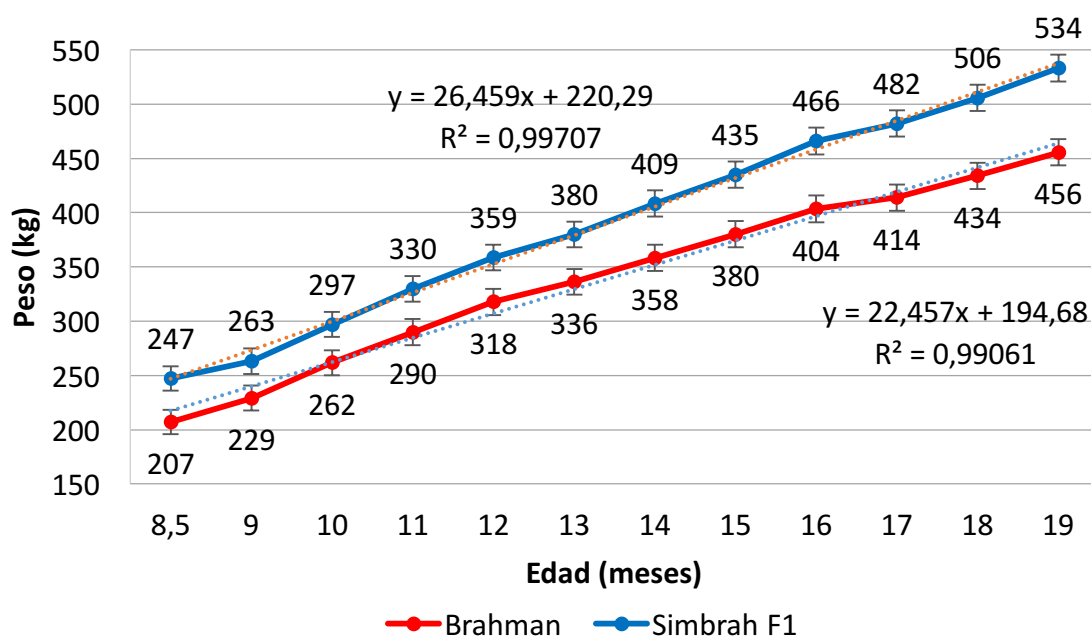


Figura 7. Curva mensual de crecimiento de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 (mínimos cuadrados promedio \pm error estándar).

La diferencia estadística observada entre los grupos raciales es atribuido al distinto potencial genético que marca la heterosis, ya que las mayores ganancias de peso fueron en los animales cruzados (Simbrah F1) debido al aumento en el vigor de los animales (Sánchez 2010), lo que indica que el nivel de heterosis aumenta según se involucren diferentes genéticas a la de origen en el cruzamiento (Jiménez *et al.* 2013).

Riera *et al.* (2004), encontró que cruces de animales Brahman con razas pertenecientes a la subespecie *Bos taurus* (Angus, Simmental, Chianina y Romosinuano) presentaban mejores ganancias de peso respecto a los Brahman puros, lo que concuerda con lo obtenido en este estudio.

5.1.2 Ganancia diaria de peso

Existió una interacción entre edad y grupo racial ($p=0,0078$), así como una interacción entre peso y edad ($p=0,0007$), lo cual permite inferir una diferencia en la GDP y en el peso entre cada uno de los grupos raciales a lo largo del tiempo.

En la Figura 8, se observa las GDP promedio mensuales, en la cual se obtuvo una GDP promedio de 0,88 kg, un máximo de 1,05 kg y un mínimo de 0,47 kg, además se aprecia una caída en la GDP a los 13 meses de edad, esto debido probablemente al cambio de concentrado, así mismo a los 17 meses de edad se observa otra caída en la GDP, debido a la disminución en la cantidad de alimento balanceado brindado, ya que los animales podrían presentar un engrasamiento excesivo que afectaría de manera negativa el sistema reproductivo.

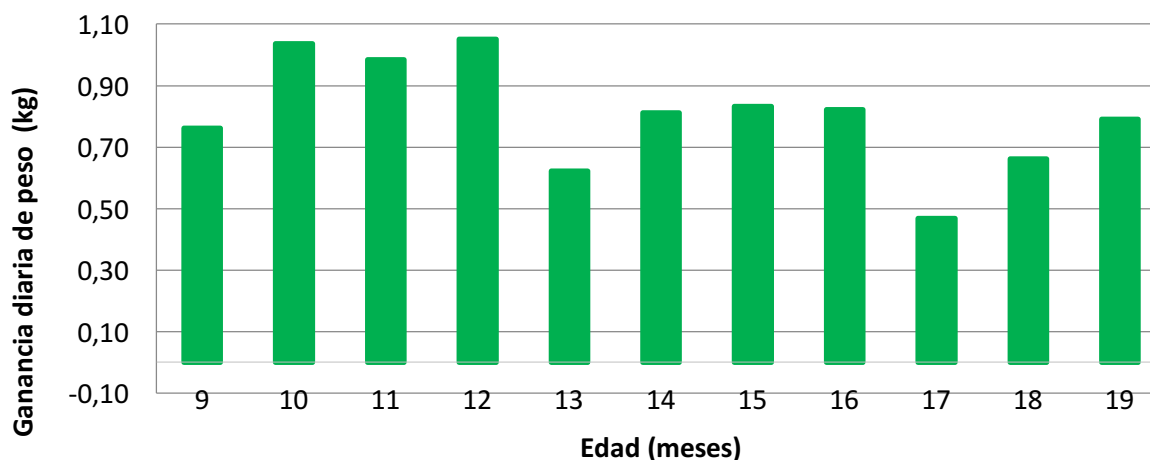


Figura 8. Ganancia diaria de peso promedio mensual de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1.

En la Figura 9, se aprecia la GDP entre grupos raciales, en la cual se observa una superioridad numérica por parte del grupo racial Simbrah F1, excepto a los 9 meses de edad, esto se debe probablemente al efecto del crecimiento compensatorio por parte de los animales Brahman, ya que presentaba pesos más bajos al ingreso a la finca, por lo que al consumir una dieta balanceado de acuerdo a sus requerimientos, se observa un aumento en

la tasa de crecimiento debido a adecuados niveles de proteína y/o energía (Ojeda *et al.* SF, Olazabal y San Martín 2008).

Así mismo, en la Figura 9 se observa que los valores promedio de GDP para el grupo racial Brahman oscilan entre 0,37 kg a 1,03 kg; mientras que los valores para los animales Simbrah F1 oscilan entre 0,57 kg a 1,08 kg. Por lo tanto, en ambos grupos raciales se encuentran animales con ganancias promedio de peso superiores a 0,5 kg, los cuales expresan su potencial genético y así mismo, hay animales que ganan poco peso, se mantienen o tienen hasta pérdidas de peso.

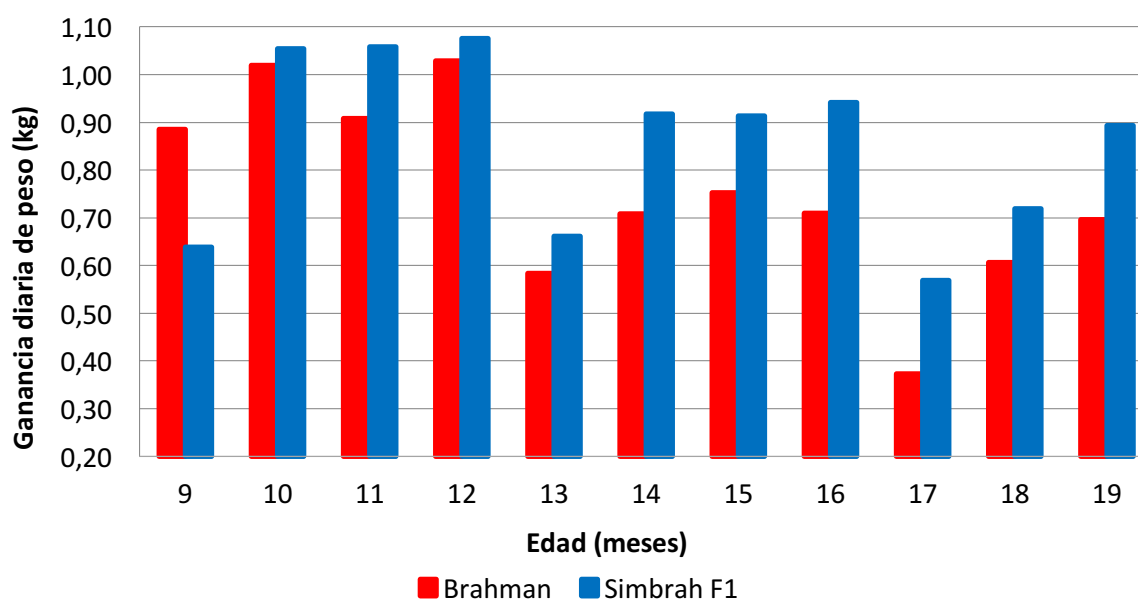


Figura 9. Ganancia diaria de peso de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1

5.1.3 Ganancia de peso total

Existió una interacción entre edad y grupo racial ($p=0,0065$), así como una interacción entre peso y edad ($p=0,0009$), lo cual permite inferir una diferencia en la GPT y en el peso entre cada uno de los grupos raciales a lo largo del tiempo. Este comportamiento es similar a la GDP y el pesaje mensual, ya que todas son formas de evaluar el crecimiento de los animales.

En la Figura 10, se observan las ganancias de peso total promedio de forma mensual, donde se percibe un promedio de GPT de 26 kg, un máximo de 33 kg y un mínimo de 13 kg.

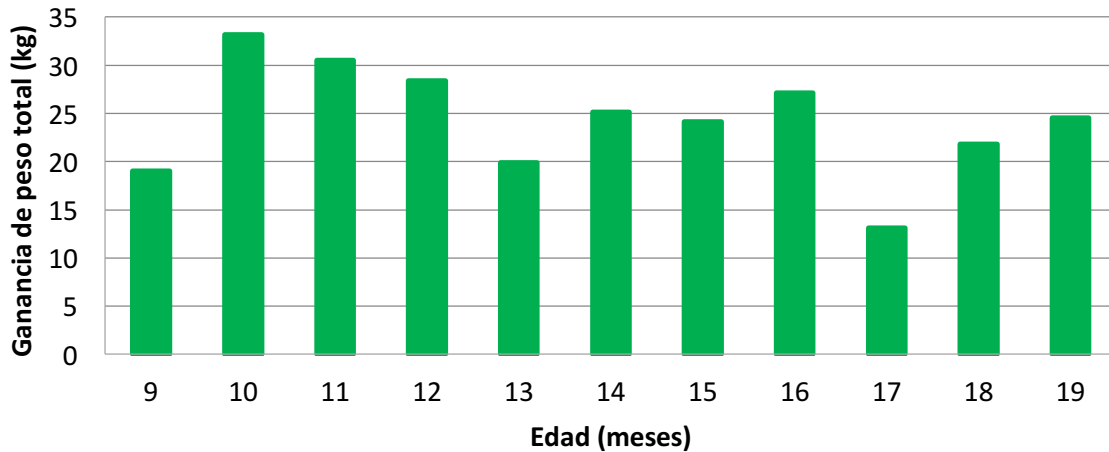


Figura 10. Ganancia de peso total mensual de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1

En la Figura 11, se aprecia la GPT entre grupos raciales, en la cual se observa una superioridad numérica por parte del grupo racial Simbrah F1, excepto a los 9 meses de edad, debido probablemente al efecto de crecimiento compensatorio por parte de los animales Brahman.

Además, se observa que los valores promedio de las GPT para el grupo racial Brahman oscilan entre 10 kg a 33 kg, mientras que los valores promedio para los animales Simbrah F1 oscilan entre 16 kg a 34 kg.

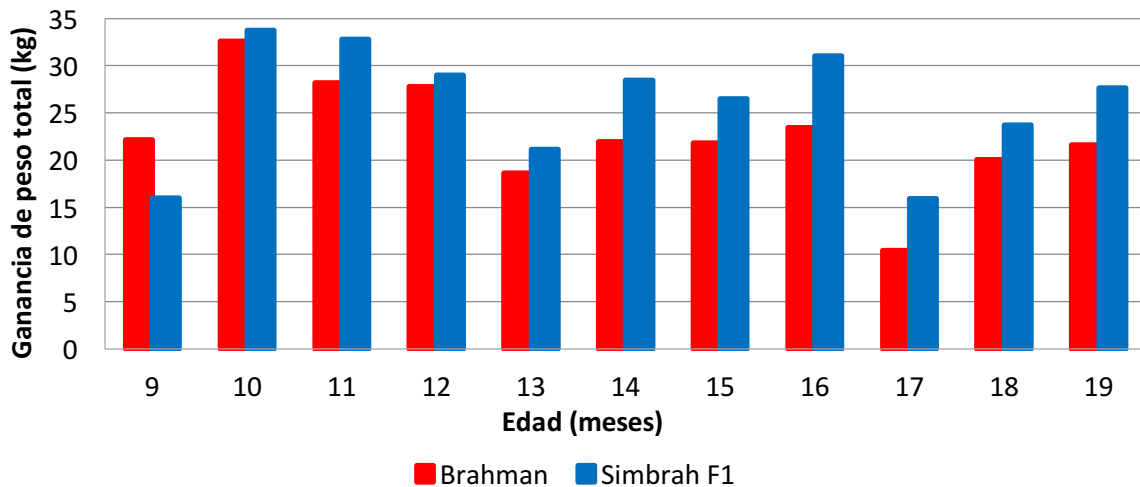


Figura 11. Ganancia de peso total mensual de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1

5.1.4 Condición corporal

La CC aumentó conforme aumentaba el peso de los animales ($p=0,021$), también aumentó con la edad de los animales ($p=0,0485$)

En la Figura 12, se aprecia la CC de ambos grupos raciales, las cuales aumentan conforme incrementa el peso a lo largo del tiempo, además, se observa una mayor reserva corporal en los animales Simbrah F1.

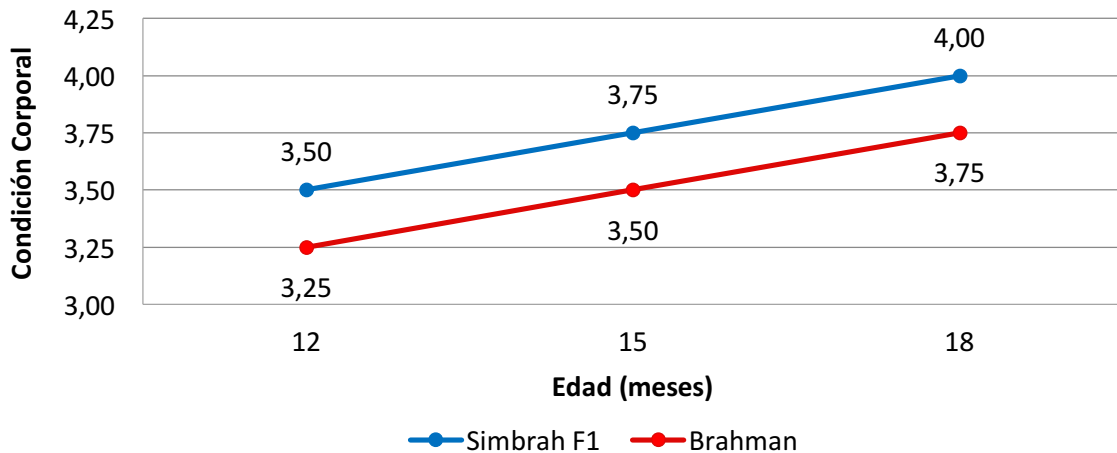


Figura 12. Condición corporal de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1

5.1.5 Espesor de la grasa dorsal

El EGD, se midió 7 días post inseminación, obteniéndose un promedio global de 8 mm. Para el grupo racial Brahman se obtuvo un promedio de 6,5 mm con un rango de 4,3 - 10,2 mm, mientras que para el grupo racial Simbrah F1 se obtuvo un promedio de 6,6 con un rango de 4,3 - 10,6 mm, los valores máximos y mínimos se aprecian en la Figura 13, en la Figura 14 se presentan los valores individuales, lo cual permite apreciar la dispersión de los datos. Debido a que esta es otra forma de medir las reservas corporales, éstas se iban a relacionar con los datos de preñez, sin embargo, no se realizó debido a los resultados de preñez obtenidos.

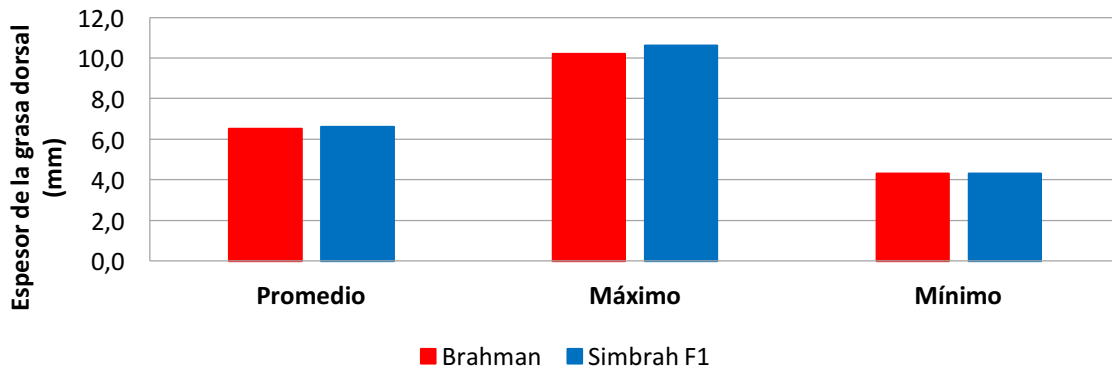


Figura 13. Espesor de la grasa dorsal de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1

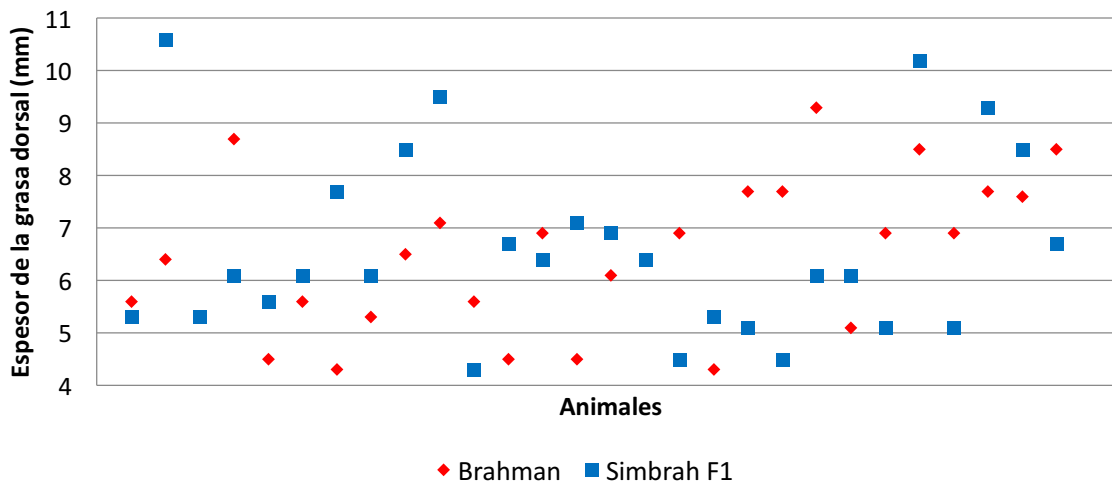


Figura 14. Variación del espesor de la grasa dorsal de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1.

5.2 Desarrollo del tracto reproductivo

El desarrollo del tracto reproductivo se evaluó a partir de los 12 meses de edad, de forma mensual, mediante ultrasonografías transrectales, para obtener medidas de las siguientes estructuras:

5.2.1 Diámetro del cérvix

El DC aumentó conforme avanzó la edad para ambos grupos raciales ($p=0,0113$), además el grupo racial Simbrah F1 presentó un mayor DC respecto al Brahman ($p=0,028$).

El diámetro promedio global del cérvix fue de 17,42 mm, con un valor promedio de 16,87 mm para los animales Brahman y 17,98 mm para el grupo racial Simbrah F1. En la Figura 15, se aprecia el DC entre grupos raciales, en la cual se observa que el diámetro aumenta conforme avanza la edad de los animales, así mismo, se aprecia una superioridad por parte de los animales Simbrah F1, lo cual concuerda con el mayor desarrollo corporal de este grupo racial, también se observan unas disminuciones en la medidas del DC para ambos grupos raciales, esto probablemente debido al momento del ciclo estral en el que se encontraban los animales al tomar las medidas. Así mismo, se observa un crecimiento mensual de 0,24 mm para los animales Simbrah F1 y 0,27 mm para los Brahman.

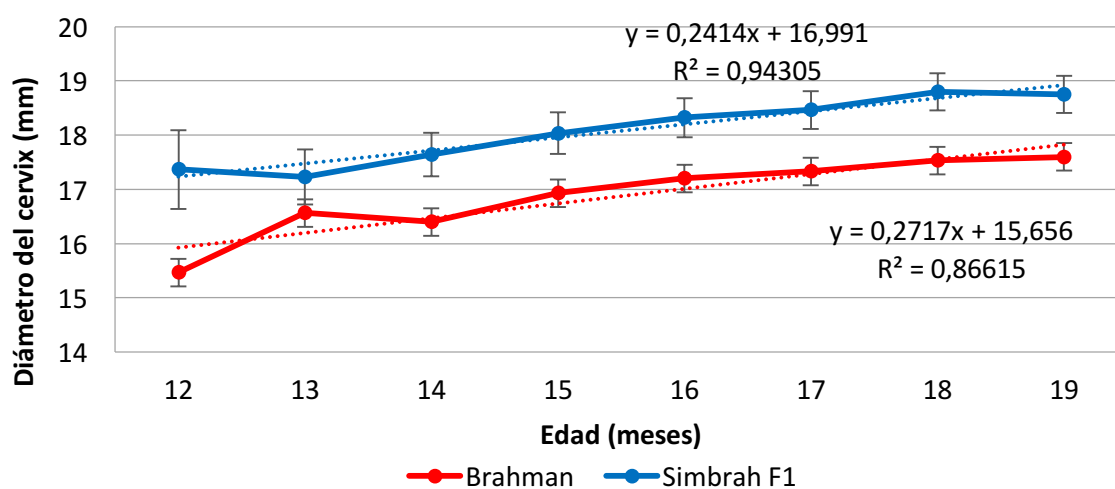


Figura 15. Promedio del diámetro del cérvix de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 (mínimos cuadrados promedio \pm error estándar).

El DC promedio obtenido concuerda con lo citado por Brito (2009), el cual presenta un rango de 12 - 20mm para novillas, además indica que las razas pertenecientes a las subespecie *Bos indicus* presentan un mayor DC debido a la hipertrofia del tejido colágeno, lo que es contrario a lo obtenido en este trabajo, ya que los animales Simbrah F1 presentaron mayor DC respecto al Brahman, esto se puede atribuir a que los animales se encontraban en distintos momentos del ciclo estral cuando se realizaron las mediciones o a el mayor crecimiento general del grupo racial Simbrah F1.

5.2.2 Diámetro del cuerno derecho

El DCD aumenta conforme se incrementa la edad ($p < 0,0001$) para ambos grupos raciales, así mismo, el grupo racial Simbrah F1 presentó un mayor DCD con respecto al

Brahman durante todas las mediciones ($p=0,0037$). El diámetro promedio global del cuerno derecho fue de 15,1 mm, con un valor promedio de 14,61 mm para los animales Brahman y 15,59 mm para los Simbrah F1 (Figura 16).

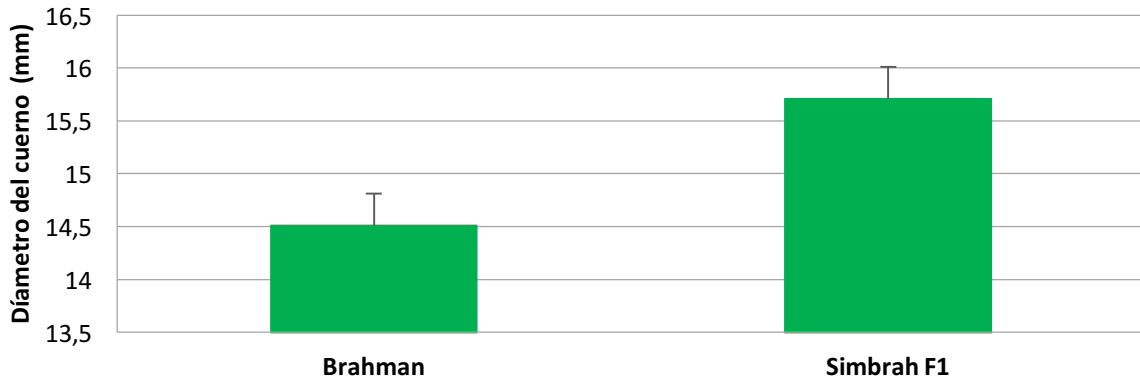


Figura 16. Diámetro del cuerno derecho de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 (mínimos cuadrados promedio \pm error estándar).

En la Figura 17, se aprecia el DCD entre grupos raciales durante las 8 mediciones, en la cual se observa que el diámetro aumenta conforme avanza la edad de los animales, se aprecia una superioridad por parte del grupo racial Simbrah F1. También, se observa un crecimiento mensual de 0,35 mm para los animales Simbrah F1 y 0,20 mm para los Brahman.

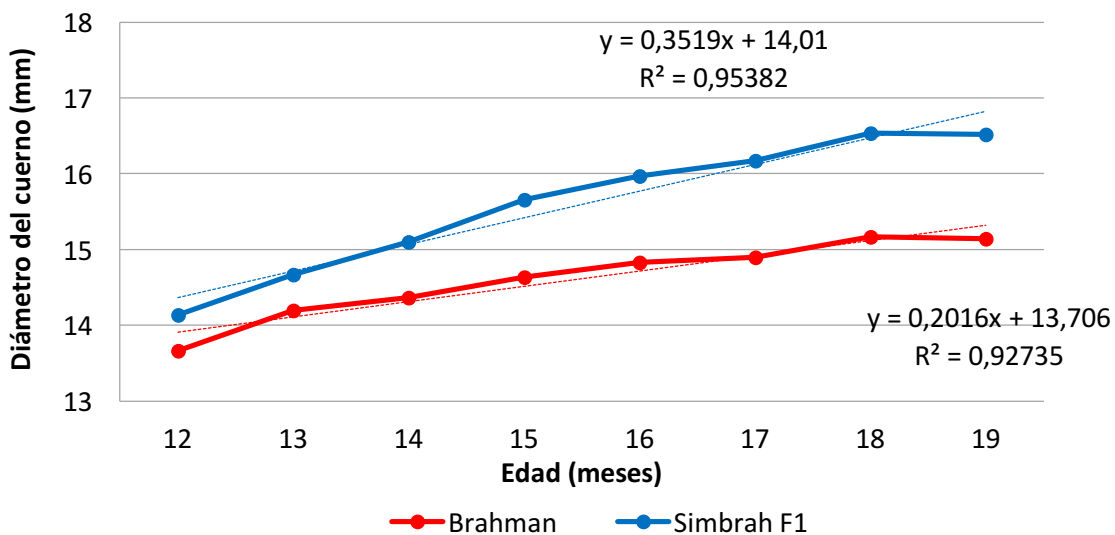


Figura 17. Diámetro del cuerno derecho de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1.

De igual forma de que el DC, en el DCD se presenta una superioridad por parte del grupo racial Simbrah F1, lo cual también se puede atribuir a las variaciones del momento del ciclo estral en que se encontraban los animales a la hora de realizar las mediciones y al mayor desarrollo general de este grupo.

5.2.3 Diámetro del ovario derecho y diámetro del ovario izquierdo

Se tomaron medidas mensuales del ancho y largo del ovario derecho e izquierdo, para ambos grupos raciales, las cuales se promediaron para obtener lo que se denominó diámetro del ovario.

El DOD aumentó conforme avanza la edad de los animales ($p < 0,0001$), mientras que el grupo racial no afectó el tamaño del DOD ($p = 0,1101$).

El promedio global del DOD fue de 21,59 mm, con un promedio de 21,36 mm para los animales Brahman y 21,82 mm para los Simbrah F1. Así mismo, se obtuvo la ecuación con tendencia lineal y el R^2 , para ambos grupos raciales, obteniéndose un crecimiento mensual de 0,58 mm para los animales Simbrah F1 y un R^2 de 0,98 y para los Brahman un crecimiento de 0,39 mm y un R^2 de 0,80, lo que confirma el aumento del diámetro conforme aumenta la edad.

El DOI aumentó conforme avanza la edad de los animales ($p < 0,0001$), mientras que el grupo racial no afectó el tamaño del DOI ($p = 0,3399$).

El promedio global del DOI fue de 20,18 mm, con un promedio de 20,02 mm para los animales Brahman y 20,35 mm para los Simbrah F1. Así mismo, se obtuvo la ecuación con tendencia lineal y el R^2 , para ambos grupos raciales, obteniéndose un crecimiento mensual de 0,46 mm para los animales Simbrah F1 y un R^2 de 0,86 y para los Brahman un crecimiento de 0,38 mm y un R^2 de 0,90 lo que confirma el aumento del diámetro conforme aumenta la edad.

En la Figura 18, se aprecia el diámetro global de ambos ovarios, derecho e izquierdo, donde se observa que el DOD fue superior durante las 8 mediciones, lo que implica que el ovario derecho presentaba mayor cantidad de estructuras a lo largo del tiempo con respecto al ovario izquierdo, esto concuerda con lo expuesto por Ginther (2019), el cual indica que la selección del folículo ovulatorio ocurre más frecuente en el ovario derecho, debido a la predilección de mayor cantidad de folículos en el ovario derecho que en el izquierdo.

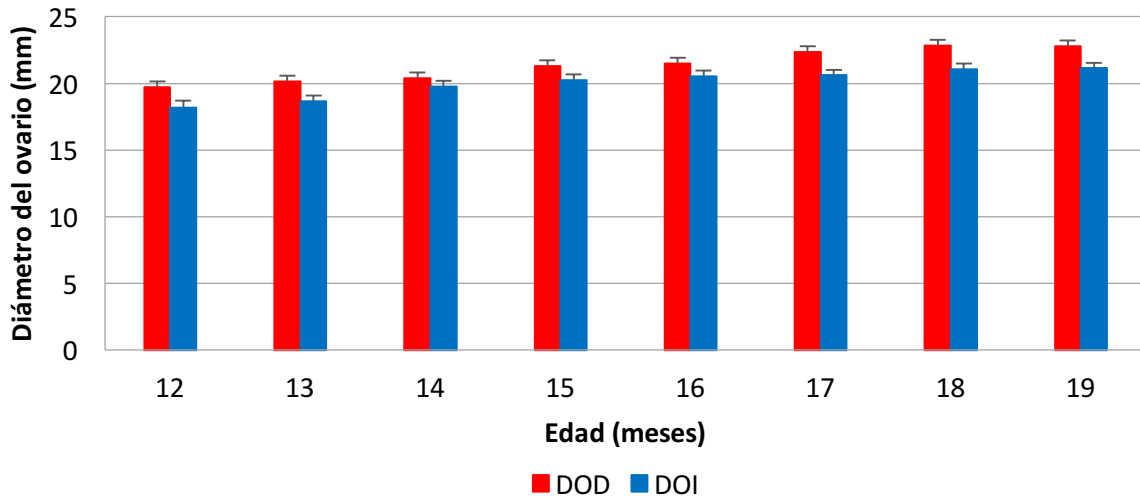


Figura 18. Diámetro global del ovario derecho e izquierdo de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 (mínimos cuadrados promedio \pm error estándar).

Respecto a los diámetros del cérvix, cuerno derecho y los ovarios derecho e izquierdo se observa un incremento en tamaño conforme pasa el tiempo, esto concuerda con lo expuesto por Pedroso *et al.* (2013), donde indican que existe un desarrollo de la anatomía del aparato reproductor conforme se desarrolla el animal. Se aprecia un incremento en el momento que se llega a la pubertad (Honaramooz *et al.* 2004, Atkins *et al.* 2013).

Además en las figuras de dichas variables (DC, DCD, DOD y DOI), se aprecia la disminución en alguna medición respecto a la del mes anterior, lo cual se debe al momento del ciclo estral como lo indica Hafez y Hafez (2002), donde señala que el patrón vascular cambia según las condiciones hormonales de los animales, lo que propicia variantes en el flujo sanguíneo presentando inflamaciones en diferentes etapas del ciclo estral, por lo tanto, este factor pudo haber influenciado en las mediciones, ya que dichos datos se obtenían en un día fijo de cada mes (24 de cada mes) independientemente del ciclo estral. Esto también concuerda con lo expuesto por Pesántez (2015) y Sánchez (2011) donde comentan que las características morfológicas de los ovarios varían según la fase del ciclo estral en las que se encuentre el animal.

Así mismo el tamaño de los ovarios se ve influenciado por las estructuras presentes (folículos y cuerpo lúteo), lo que explica los distintos tamaños encontrados en este estudio (Orellana y Peralta 2007).

5.2.4 Cantidad y tamaño de folículos

Se midieron mensualmente la cantidad de folículos presentes en el ovario derecho e izquierdo, los cuales se clasificaron en tres categorías según su tamaño, folículos clase 1 (≥ 10 mm), folículos clase 2 (6 - 9 mm) y folículos clase 3 (≤ 5 mm), luego de esto, se sumaron las estructuras de los 2 ovarios para obtener el número total de folículos y clasificarlos según su tamaño en TF1 (≥ 10 mm), TF2 (6 - 9 mm) y TF3 (≤ 5 mm).

La cantidad de los folículos varió conforme avanzaba la edad de los animales ($p < 0,0001$), esto para todas las categorías de los folículos, mientras que el grupo racial, no afectó el tamaño de los folículos (TF1, TF2 y TF3) ($p = 0,6941$), ($p = 0,0967$) y ($p = 0,5595$) respectivamente.

En la Figura 19, se observa el promedio total de folículos de cada categoría (TF1, TF2 y TF3), para ambos grupos raciales se aprecia que la mayor cantidad de folículos presentes eran los TF3, lo que corresponde a folículos menores a 5 mm, seguidos de los TF2 (6 - 9 mm) y por último los TF1 (≥ 10 mm), además, se aprecia un aumento en la cantidad de folículos de todas las categorías, conforme avanza la edad para ambos grupos raciales. Se observa mayor actividad ovárica a partir de los 13 meses de edad para los animales Brahman, mientras que para el grupo racial Simbrah F1 se observa que desde los 12 meses de edad hubo actividad ovárica.

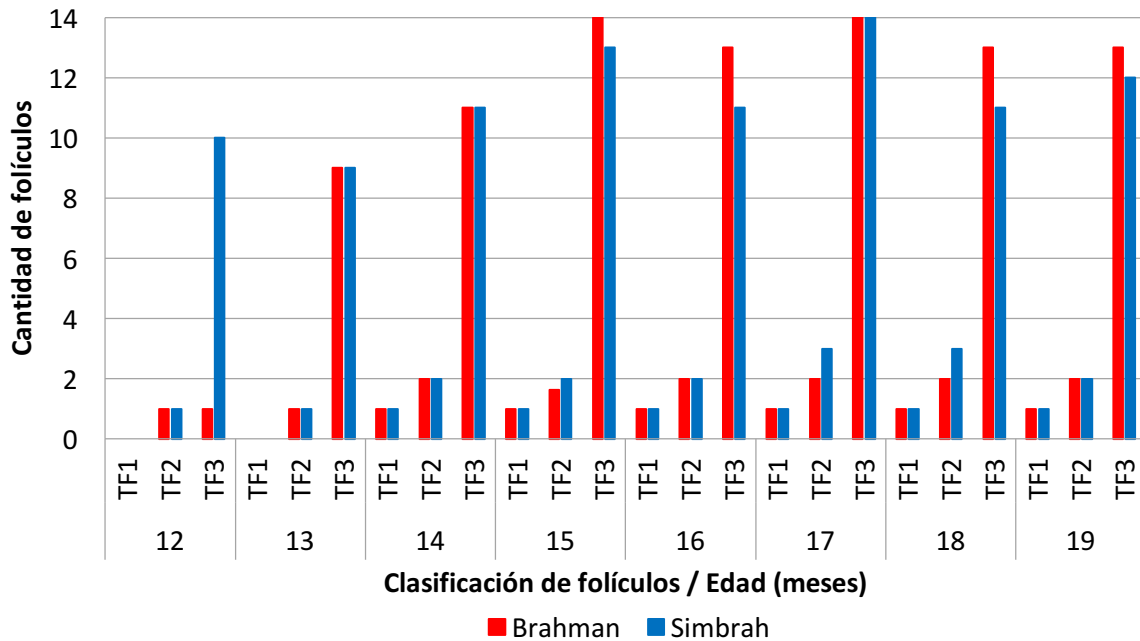


Figura 19. Cantidad de folículos totales categorizados en clases de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 desde los 12 hasta 19 meses de edad (TF1: ≥ 10 mm, TF2: 6 - 9 mm y TF3: ≤ 5 mm).

El comportamiento observado respecto a la dinámica ovárica, fue el esperado, donde existen más folículos de menor tamaño debido a la aparición de las ondas foliculares, seguido de ovarios intermedios en crecimiento y por último folículos con capacidad ovulatoria (≥ 10 mm), esto debido al control hormonal del ciclo estral (Callejas 2004).

También se aprecia lo expuesto por Grajales *et al.* (2006), donde la heterosis juega un papel importante en la llegada a la pubertad, ya que las razas con cruces *Bos taurus* como es el caso del grupo Simbrah F1 son más precoces, por lo que alcanzan la pubertad antes que las razas *Bos indicus*.

5.2.5 Diámetro del cuerpo lúteo total

Se tomaron medidas mensuales del ancho y largo del CL y de su cavidad cuando estaba presente, dichas medidas se promediaron para obtener el diámetro del cuerpo lúteo total (DCLT).

El DCLT aumentó conforme avanzaba la edad de los animales ($p < 0,001$), así mismo, el grupo racial no afectó el tamaño del DCLT ($p = 0,9978$).

El promedio global del DCLT es de 18,93 mm, con un promedio de 18,87 mm para los animales Brahman y 18,97 mm para los Simbrah F1. En la Figura 20, se aprecia el DCLT entre grupos raciales, en la cual se observa un comportamiento relativamente constante a partir de los 15 meses de edad. También se aprecia que los animales Brahman no presentaban CL a los 12, 13 ni 14 meses de edad, mientras que los Simbrah F1 mostraban CL desde los 13 meses de edad.

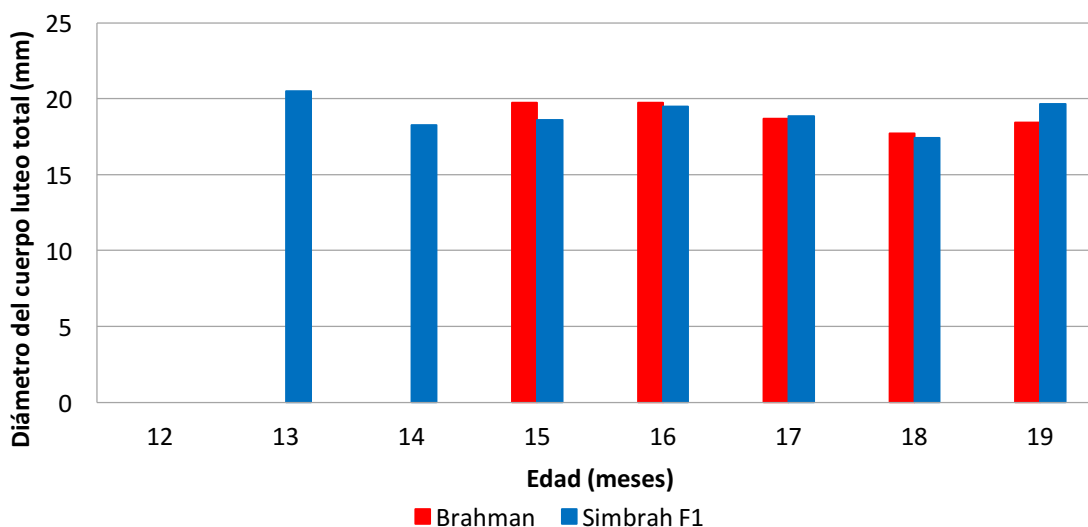


Figura 20. Diámetro del cuerpo lúteo total para los grupos raciales Brahman y Simbrah F1.

5.2.6 Diámetro del cuerpo lúteo neto

Se tomaron medidas mensuales del ancho y largo del CL y de su cavidad cuando estaba presente, dichas medidas se promediaron para obtener el DCLT, a este diámetro se le sustrajo la cavidad para obtener el diámetro del cuerpo lúteo neto (DCLN).

El DCLN aumentó conforme avanzaba la edad de los animales ($p=0,0054$), así mismo, el grupo racial afectó el tamaño del DCLN ($p=0,0303$), lo que indica que la cavidad del CL varía según el grupo racial.

El promedio global del DCLN es de 16,36 mm, con un promedio de 17,29 mm para el grupo racial Brahman y 15,70 mm para los Simbrah F1. En la Figura 21, se aprecia el DCLN entre grupos raciales, en la cual se observa un comportamiento relativamente constante a partir de los 15 meses de edad. También se aprecia que los animales Brahman no presentaban CL a los 12, 13 ni 14 meses de edad, mientras que los Simbrah F1 mostraban CL desde los 13 meses de edad.

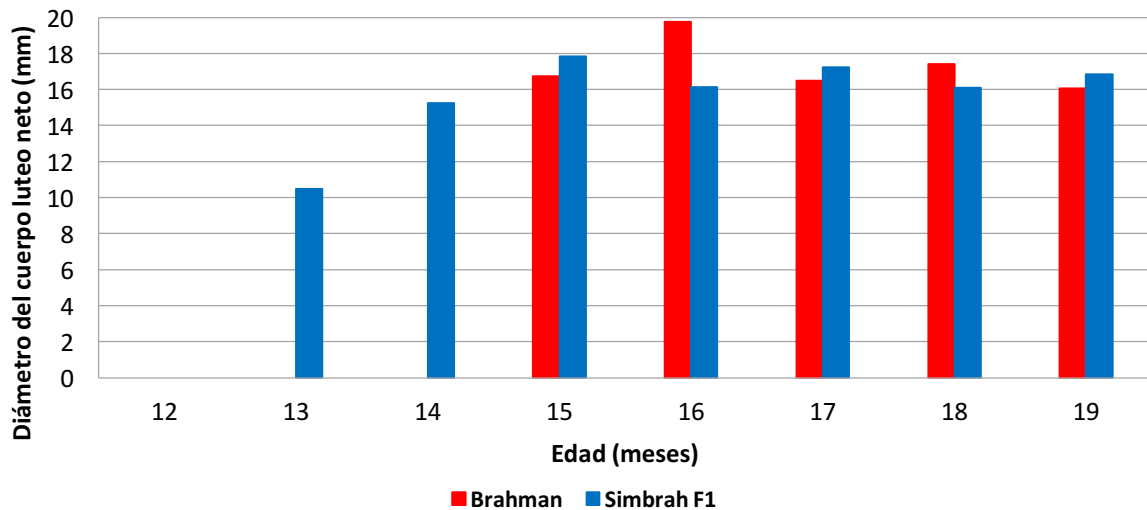


Figura 21. Diámetro del cuerpo lúteo neto para los grupos raciales Brahman y Simbrah F1.

5.2.7 Ciclicidad

Así mismo, en la Figura 22 se pueden observar los porcentajes de ciclicidad (presencia de CL) mensual para los grupos raciales Brahman y Simbrah F1, en el cual se aprecia que la ciclicidad aumenta conforme pasa el tiempo para ambos grupos, sin embargo los animales Simbrah F1 empezaron a presentar CL desde los 13 meses, mientras que los Brahman a partir de los 15 meses, esto es congruente con la información que se presenta en la Figura 20 donde se nota la llegada retrasada a la pubertad de los Brahman con respecto al grupo Simbrah F1.

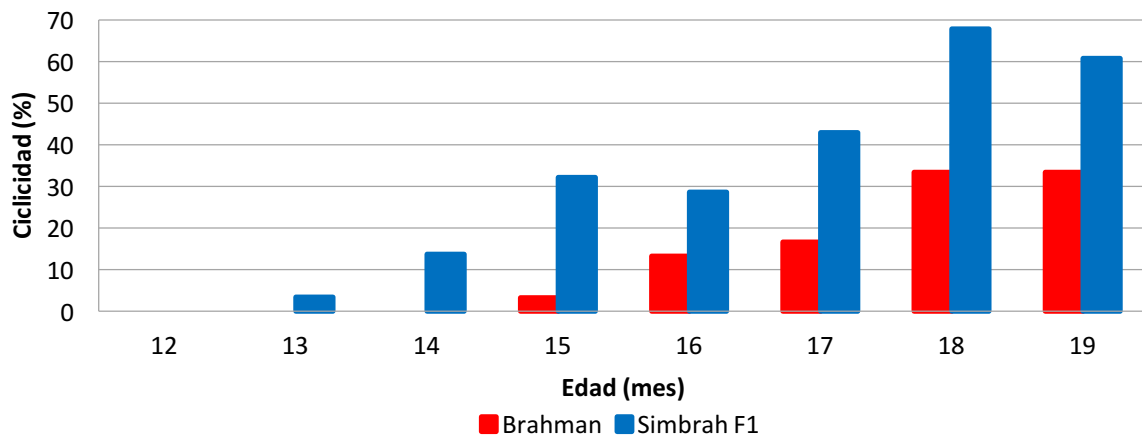


Figura 22. Porcentaje de hembras ciclicando en cada evaluación mensual de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1.

En la Figura 23, se observa que el porcentaje de ciclicidad total en la última medición fue de 47%, lo que indica que solo 27 animales presentaron CL, donde 17 animales correspondían al grupo racial Simbrah F1 y 10 a los Brahman. Además, el porcentaje de ciclicidad global fue de 67%, lo que indica que solo 39 animales de los 58 animales en total presentaron CL en algún momento de las 8 mediciones mensuales que se realizaron, donde 25 animales pertenecían al grupo racial Simbrah F1 y 14 a los Brahman. Así mismo, se aprecia el porcentaje de ciclicidad global por grupo racial, el cual fue casi del doble para los animales Simbrah F1 con respecto al Brahman.

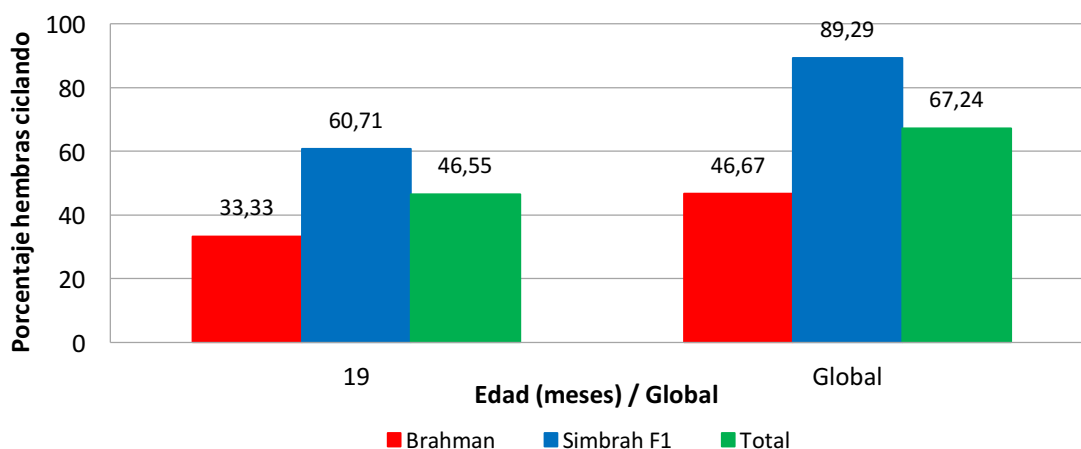


Figura 23. Porcentaje de ciclicidad total de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 a los 19 meses de edad y porcentaje global de ciclicidad.

Con los datos obtenidos se confirma el efecto del vigor híbrido antes mencionado sobre la ciclicidad de los animales, donde el aporte del *Bos taurus* en el grupo racial Simbrah F1 es notorio en cuanto a la mejora de los parámetros reproductivos respecto a razas pertenecientes al *Bos indicus*.

5.2.8 Textura del útero

Se clasificó la textura del útero (TU) mensualmente en tres categorías (flácido, ligeramente tónico y tónico), sin embargo, la distribución de los animales en cada clasificación (Cuadro 5) no permitió hacer un análisis para dicha variable. La textura del útero está relacionada con algunos momentos del ciclo estral, en la etapa de peri estro se espera un útero tónico.

Cuadro 5. Clasificación promediada de la textura del útero para los grupos raciales Brahman y Simbrah F1.

Clasificación	Promedio
Flácido	43
Ligeramente tónico	8
Tónico	7

5.2.9 Posición del tracto reproductivo

Se clasificó la posición del tracto reproductivo respecto a la cavidad pélvica en tres categorías (SPS1, SPS2, SPS3), sin embargo, el número de animales obtenidos para cada categoría (Cuadro 6) no permitió efectuar un análisis para dicha variable y evaluar su efecto sobre la preñez, donde Young *et al.* (2017) indica que los animales con posición SPS1 se preñan mejor. Los resultados del Cuadro 6 eran esperados para un grupo de novillas, ya que estas no han parido, por lo que su útero no ha cambiado de tamaño para dar cabida a un feto.

Cuadro 6. Posición del tracto reproductivo para los grupos raciales Brahman y Simbrah F1

Clasificación*	Brahman	Simbrah F1	Global
SPS1	29	22	51
SPS2	1	6	7
SPS3	0	0	0

*SPS1: Tracto reproductivo completo está dentro de la cavidad pélvica, SPS2: Tracto reproductivo específicamente el cérvix está dentro de la cavidad pélvica, pero los cuernos uterinos están fuera de la cavidad y SPS3: Tracto reproductivo donde el cuello uterino como los cuernos están fuera de la cavidad pélvica.

5.2.10 Clasificación del tracto reproductivo

Como se mencionó en las secciones anteriores, se evaluó de manera mensual ciertas variables que permitió clasificar a los animales en una escala de 1 a 5 según su RTS. En la Figura 24 se aprecia que no hay animales prepuberales (RTS 1 o RTS 2), así mismo, hay 8

animales prepuberales (RTS 3) todos pertenecientes al grupo Brahman; además, se observan 3 animales Simbrah F1 y 8 Brahman peripuberales (RTS 4) y se contemplan 25 animales Simbrah F1 y 14 Brahman puberales (RTS 5).

A manera global había 8 animales prepuberales, 11 peripuberales y 39 puberales, lo que implica que 8 animales presentaban folículos menores a 10 mm, 11 animales mostraban folículos mayores a 10 mm, con posible presencia de CL y 39 animales exhibían folículos mayores a 10 mm con CL presente.

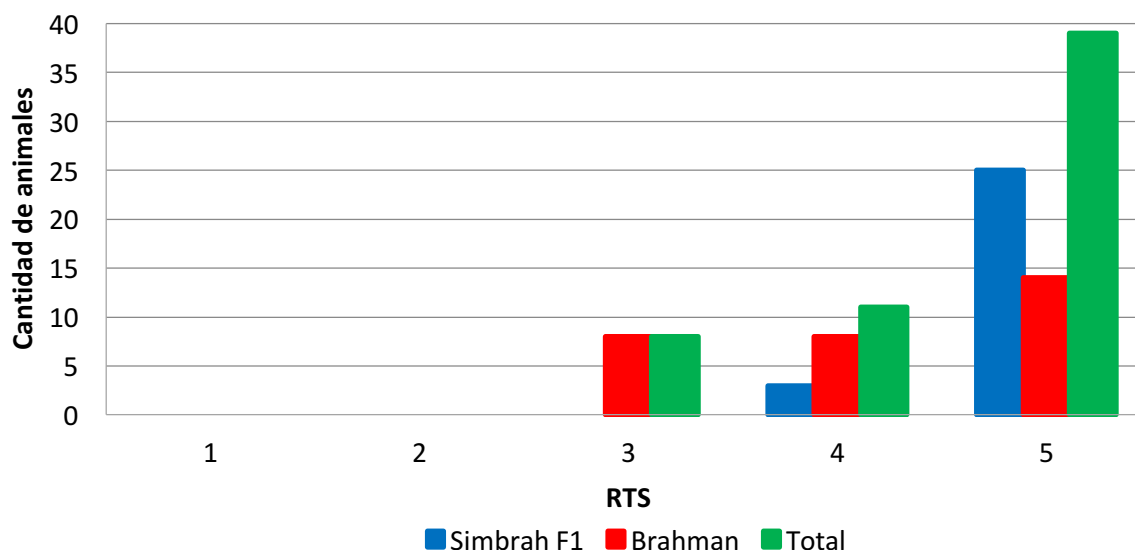


Figura 24. Clasificación del tracto reproductivo de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1. RTS 1: Prepuberal (estructuras no palpables), RTS 2: Prepuberal (folículos de 8 mm), RTS 3: Peripuberal (folículos 8 - 10 mm), RTS 4: Puberal (folículos > 10 mm, posible CL) y RTS 5: Puberal (folículos > 10 mm, con CL presente).

El RTS es utilizado como herramienta de selección para enviar animales a primer servicio y como indicador de las necesidades nutricionales, ya que el desarrollo del aparato reproductor va de la mano con la nutrición, lo que permite tener una idea clara de si los animales son aptos o no para ser incorporados en un programa de IATF (Butler *et al.* 2015).

5.3 Respuesta ovárica respecto a los protocolos

La evaluación de la respuesta ovárica ante los protocolos, se basó en los niveles de concentración de P₄ sérica durante los días de aplicación de PGF_{2α}, día de inseminación y 7 días post inseminación, se evaluó el TF1, TF2, TF3, tamaño del folículo pre ovulatorio

(TFPO), diámetro del cuerpo lúteo total (DCLT), diámetro del cuerpo lúteo neto (DCLN) y ciclicidad.

5.3.1 Cantidad y tamaño de folículos

Se evaluó si las categorías de folículos (TF1, TF2 y TF3) se vieron afectados por las concentraciones de P_4 , tratamiento y grupo racial al día de aplicación de $PGF_{2\alpha}$ y al momento de inseminación.

Para TF3 hubo diferencia en cuanto al tratamiento ($p=0,0143$), en el cual el valor esperado de TF3 es de 61,6% mayor para los animales tratados con E_2 , lo que quiere decir que los animales tratados con E_2 van a presentar más cantidad de folículos clase 3 (< 5 mm) que los tratados con GnRH; mientras que el grupo racial, P_4 y el día no tuvo influencia sobre la cantidad de folículos ($p=0,6296$, $0,2119$ y $0,5538$), respectivamente.

Para TF2, no hubo diferencia en cuanto a tratamiento, grupo racial, P_4 y día ($p=0,6492$, $0,1799$, $0,3541$ y $0,1124$) respectivamente, por lo que estas variables no tuvieron influencia sobre la cantidad de folículos de tamaño intermedio (6 - 9 mm).

Para TF1, hubo diferencia en cuanto a tratamiento ($p=0,0295$), en el cual el valor de TF1 fue 38,4% menor para los animales tratados con el P2 que con el P1, lo que permite inferir que los animales tratados con el P2 (protocolo con E_2) presentaron menos folículos de clase 1 (≥ 10 mm), que los tratados con el P1 (protocolo con GnRH). También la P_4 afectó al TF1 ($P=0,0307$), cuando P_4 aumenta en una unidad, el valor esperado de TF1 disminuye en 14,7%, lo que quiere decir que a mayor progesterona se van a presentar menos folículos de clase 1; mientras que el grupo racial y día no tuvieron influencia en la cantidad de folículos de clase 1 ($p=0,7965$) y ($p=0,6333$) respectivamente.

5.3.2 Tamaño del folículo pre ovulatorio

Se evaluó si la concentración de P_4 al día de la inseminación, tratamiento y grupo racial afectaron el tamaño del folículo pre ovulatorio (TFPO), no hubo influencia de estas variables sobre el tamaño del folículo pre ovulatorio ($p > 0,1$), lo que indica que la respuesta al tratamiento es similar usando P1 o P2 para ambos grupos raciales.

También se evaluó si el TFPO afectó los resultados de preñez, no hubo diferencia para ninguno de los diagnósticos (DP1, DP2, DPA) ($p=0,2618$), ($p=0,2996$), ($p=0,9789$) respectivamente.

Se evaluó el efecto de la ciclicidad ($p=0,5265$), TFPO ($p=0,7989$), el grupo racial ($p=0,9237$) y tratamiento ($p=0,9702$) sobre los niveles de P_4 , donde no hubo influencia en ninguno de las variables mencionadas, por lo tanto animales que estén ciclando o no presentaron los mismos niveles de P_4 , además, el hecho de que el animal estuviera ciclando o no, no implicó un cambio sobre el tamaño del folículo pre ovulatorio.

En un estudio realizado por Colazo *et al.* (2007) concluyeron que novillas que no estaban ciclando al inicio del tratamiento tuvieron un porcentaje de preñez más bajo que aquellas que estaban ciclando (49 vs 56%). Además el porcentaje de preñez más alto fue en novillas que estaban en diestro (58%), independientemente del tipo de tratamiento administrado, en consecuencia se obtuvieron datos de preñez de 63% (17β -estradiol) vs 51 - 55% (BE, CPE, GnRH o pLH), no obstante, en este estudio no se observó esa diferencia sobre el porcentaje de preñez con respecto a novillas que estaban ciclando al inicio del tratamiento y las que no.

5.3.3 Progesterona al día 7 post inseminación

Se evaluó la concentración de P_4 al día 7 post IA con respecto al DCLT, DCLN, grupo racial y tratamiento. El tratamiento ($p=0,3483$) y el grupo racial ($p=0,7834$) no tuvo influencia sobre los niveles de P_4 ; mientras que el DCLT ($p=0,0028$) y DCLN ($p=0,0113$) si presentaron diferencias en cuanto a los niveles de P_4 , cuando el DCLT aumenta en una unidad (1 mm), el valor esperado de P_4 aumenta en 0,25 mg, lo que indica que a mayor tamaño del DCLT, se tendrá mayores niveles de P_4 , mientras que cuando el DCLN aumenta en una unidad (1 mm), el valor esperado de P_4 aumenta en 0,23 mg.

No obstante con estos resultados el DCLT tiene mayor influencia sobre los niveles de P_4 que el DCLN, lo cual puede ser explicado por la distribución de las células esteroideogénicas del CL, las cuales se clasifican en células pequeñas y grandes, se especula que las células de la teca interna se multiplican y se transforman en las células lúteas pequeñas (10 - 22 mm de diámetro), estas aumentan en número pero no en tamaño, estas células pequeñas representan el 20% del volumen del CL; por el contrario las células de la granulosa se hipertrofian aumentando en tamaño pero no en cantidad dando origen a las células lúteas grandes (> 25 mm de diámetro), estas células representan el 40% del CL; el 40% restante corresponde a 20% de espacio vascular, 13% de células endoteliales y de 6 - 9% de fibroblastos (Wiltbank 1994, Díaz *et al.* 2002) donde el 80% de la P_4 producida por el CL es debido a las células lúteas grandes (Niswender *et al.* 1985).

5.3.4 Relación de concentraciones de P₄ con respecto al diagnóstico de preñez

Se evaluó un modelo para analizar la influencia de P₄, tratamiento y grupo racial sobre la preñez. No hubo diferencia para ninguno de los diagnósticos (DP1, DP2 y DPA), ($p=0,2345$), ($p=0,238$), ($p=0,1009$) respectivamente, ni para tratamiento ($p=0,7058$), ($p=0,8735$) y ($p=0,9337$) ni grupo racial ($p=0,6577$), ($p=0,5086$) y ($p=0,4462$).

5.3.5 Correlación DCLT y DCLN

Se obtuvo una correlación entre DCLT y DCLN la cual es de 0,93, siendo alta y cercana a 1, lo que indica que conforme el DCLT aumente también lo hará el DCLN.

También se obtuvieron correlaciones de DCLT y DCLN con los niveles de P₄ a los 7 días después de la IA, la cual es de 0,56 para el DCLT y de 0,63 para el DCLN, las cuales son moderadas, lo que indica que conforme el DCLT y DCLN aumente también lo hará las concentraciones de P₄.

5.3.6 Temperatura rectal

Como datos adicionales al proyecto, se midió la temperatura rectal para conocer su comportamiento durante los días del protocolo. Se evaluó la temperatura rectal con respecto al grupo racial y día de inicio del protocolo (día 1), día de aplicación de PGF_{2 α} (día 2) y el día de la inseminación (día 3), no hubo diferencia significativa en cuanto a grupo racial ($p=0,2166$), sin embargo, hubo diferencia entre los días ($p=0,002$). Según la prueba Tukey-Kramer para el día 1 y 2 no hay diferencia de temperatura ($p=0,436$), ni para el día 1 y 3 ($p=0,1209$), pero si la hay entre el día 2 y 3 ($p=0,0013$).

Este análisis confirma la teoría de que al incluir un porcentaje Cebuino en los cruces, en este caso 50% para el grupo Simbrah F1 existe una tolerancia térmica a las condiciones tropicales, lo que genera que no existan diferencias significativas de temperaturas entre ambos grupos raciales (Nogueira 2004).

La temperatura rectal aumenta en el día del celo, por eso la diferencia significativa observada, lo cual concuerda con lo expuesto por Aldana (2007), el cual indica que la temperatura aumenta conforme avanza el celo, dándose un cambio de 0,7°C a la mitad del celo y en el celo intenso este cambio puede llegar a ser hasta de 1°C.

5.4 Diagnóstico de preñez

El diagnóstico de preñez se realizó por medio de ecografía, a los 35 días después de la primera y segunda inseminación, posteriormente se obtuvo la preñez acumulada que corresponde a las preñeces del primer más el segundo servicio.

Para el diagnóstico de preñez a primer servicio (DP1), no fue posible obtener el análisis estadístico, debido a que los resultados de preñez no permitieron que el modelo convergiera (7 animales preñados, todos pertenecientes al grupo racial Simbrah F1).

Con respecto al diagnóstico de preñez al segundo servicio (DP2) no fue afectado por el grupo racial ($p=0,1697$), ni por tratamiento ($p=0,2983$), lo que indica que se preñaron animales de ambos grupos raciales y de ambos tratamientos por igual.

El grupo racial ($p=0,0169$) afectó el diagnóstico de preñez acumulada (DPA), esto debido a que en el DP1 no se preñaron animales Brahman, pero en el DP2 si hubo preñeces de ambos grupos raciales, lo que permitió hacer el análisis para el DPA. Además el DPA no fue afectada por el tratamiento ($p=0,3965$), lo que indica que ambos protocolos resultaron eficientes para la sincronización de la ovulación e IATF y que el único factor que influyó en la preñez fue el grupo racial, donde la probabilidad de que las novillas Brahman queden preñadas es de 86,46% menor que la posibilidad de que las novillas Simbrah F1 queden preñadas, o lo que es lo mismo, las novillas Simbrah F1 tienen 6,39 veces más de probabilidad de quedar preñadas que las Brahman.

Los datos obtenidos de preñez para el DP1 fue de 7/58, todas las preñeces correspondieron a animales Simbrah F1, para el DP2 fue de 14/51 y para el DPA fue de 21/58.

En la Figura 25, se observan los porcentajes de preñez, donde se obtuvo un 12% al primer servicio, 24% al segundo servicio y una preñez global de 36%.

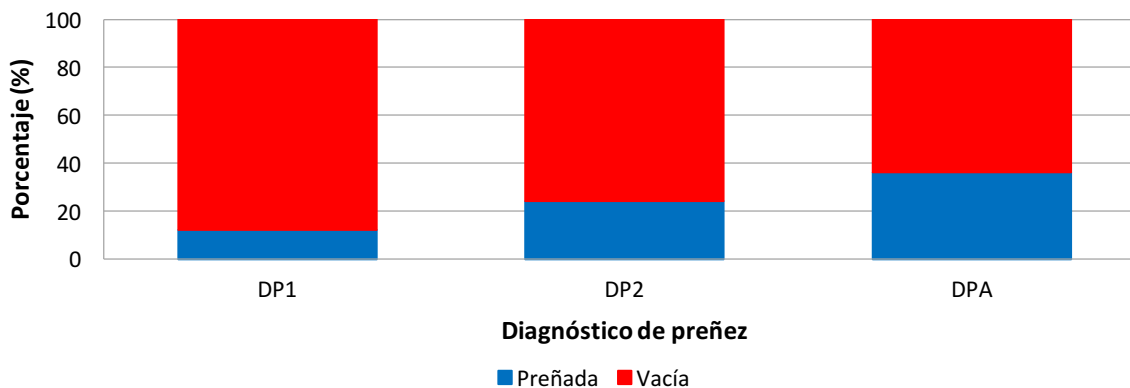


Figura 25. Resultado global del porcentaje de preñez para los distintos diagnósticos de gestación. DP1: diagnóstico de preñez a primer servicio, DP2: diagnóstico de preñez al segundo servicio, DPA: diagnóstico de preñez acumulada.

En la Figura 26, se aprecia la cantidad de novillas preñadas y vacías por grupo racial, para cada diagnóstico de preñez.

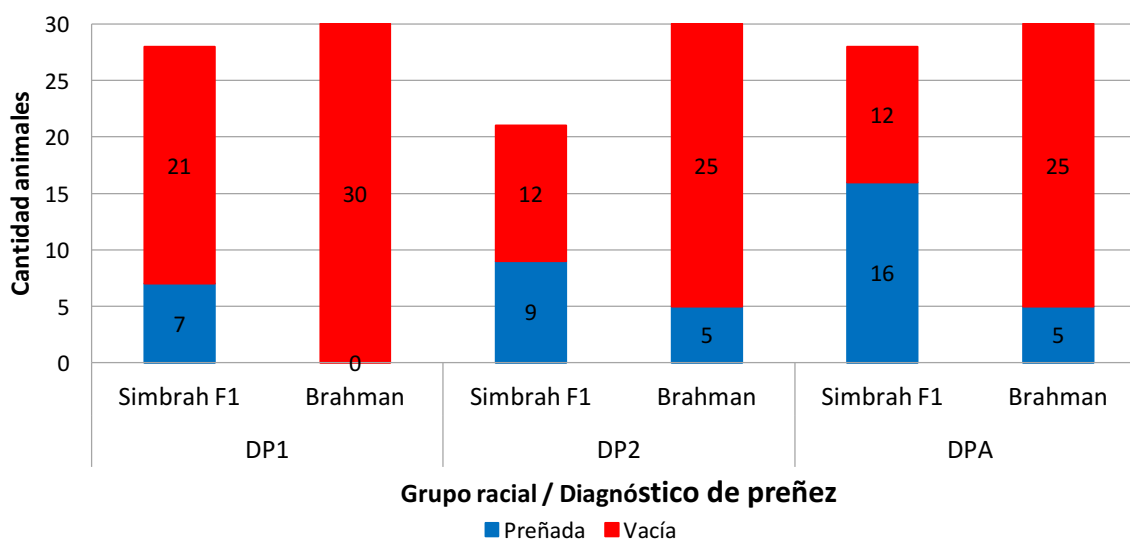


Figura 26. Novillas preñadas y vacías de los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 en cada diagnóstico de preñez. DP1: Diagnóstico de preñez a primer servicio, DP2: Diagnóstico de preñez al segundo servicio, DPA: Diagnóstico de preñez acumulada.

En la Figura 27, se observa la cantidad de novillas preñadas por grupo racial en cada protocolo (P1: Protocolo con GnRH, P2: Protocolo con E₂) para cada diagnóstico de preñez. En el DP1 se preñaron 7 novillas Simbrah F1 (4 con P1 y 3 con P2) y no se preñó ninguna

del grupo racial Brahman, para el DP2 se preñaron 9 novillas Simbrah F1 (4 con P1 y 5 con P2) y 5 Brahman (1 con P1 y 4 con P2), lo que respalda el hecho de que no exista diferencia significativa en cuanto a grupo racial ($p=0,1697$) ni al tratamiento ($p=0,2983$) y para el DPA se preñaron 16 novillas Simbrah F1 (8 con P1 y 8 con P2) y 5 Brahman (1 con P1 y 4 con P2) lo que demuestra el efecto del grupo racial ($p=0,0169$) sobre el diagnóstico de preñez acumulada, debido a que en el primer servicio solo se preñaron animales Simbrah F1 y no hay efecto del tratamiento ($p=0,3965$) sobre el DPA, ya que las novillas se preñaron por igual con cualquiera de los dos protocolos.

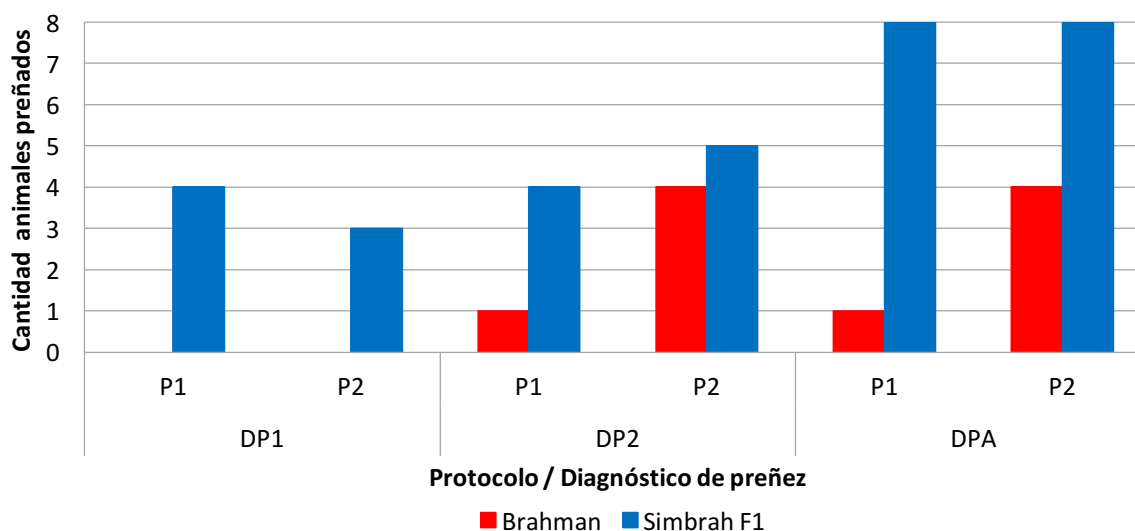


Figura 27. Novillas preñadas para los grupos raciales Brahman y Simbrah F1 en cada diagnóstico de preñez. P1: Protocolo con GnRH, P2: Protocolo con E_2 , DP1: Diagnóstico de preñez a primer servicio, DP2: Diagnóstico de preñez al segundo servicio, DPA: Diagnóstico de preñez acumulada.

En la Figura 28, se observa la cantidad total de novillas preñadas por protocolo (P1: protocolo con GnRH, P2: protocolo con E_2) para cada diagnóstico de preñez. En el DP1 se preñaron 7 novillas (4 con P1 y 3 con P2), para el DP2 se preñaron 14 novillas (5 con P1 y 9 con P2) y para el DPA se preñaron 21 novillas (9 con P1 y 12 con P2).

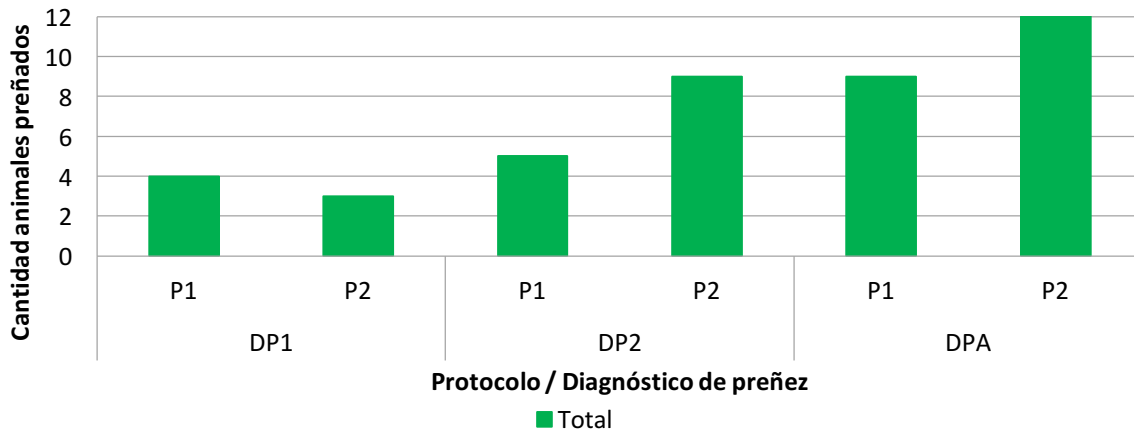


Figura 28. Total de novillas preñadas por protocolo para cada diagnóstico de preñez. P1: protocolo con GnRH, P2: protocolo con E₂, DP1: diagnóstico de preñez a primer servicio, DP2: diagnóstico de preñez al segundo servicio, DPA: diagnóstico de preñez acumulada.

Con respecto a la preñez, el uso de protocolos a base de GnRH o E₂ no tuvo influencia, ya que para ambos protocolos no existió diferencia en respuesta, los dos protocolos son igual de eficientes en cuanto a sincronización de la ovulación e IATF, a pesar de los bajos índices de preñez.

Paralelo a la realización de esta tesis, se realizó una prueba de campo en el cantón de Upala, Alajuela. Se contó con 65 novillas en pastoreo de cruces de Brahman con Charolais, Brahman con Simmental y Red Polled y animales con encaste principalmente cebuino, las cuales fueron pareadas por grupo racial y ciclicidad previo a los tratamientos (los mismos utilizados en esta tesis), las cuales fueron sincronizadas e inseminadas y a los 20 días post IA se realizó un repaso con toro, donde se obtuvo un porcentaje de preñez acumulada mediante IA de 49,2% (55,2% con GnRH y 44,4% con E₂) dichos resultados, además de que se acercan a los resultados de preñez esperados mediante IATF, son congruentes con lo encontrado en esta tesis, donde el protocolo (P1 o P2) no afecta la tasa de preñez, que ambos tienen un desempeño similar.

De igual forma en un estudio realizado por Flores-Mariñelarena *et al.* (2013) el uso de EB versus GnRH no presentó diferencias significativas en cuanto al porcentaje de preñez (56,5% vs 47,8%), lo que concuerda con lo obtenido en este estudio. Así mismo, De la Vega *et al.* (2014), comparó los mismos tratamientos y a pesar de haber encontrado diferencia numérica a favor del tratamiento con EB (41% vs 23%), dichos valores no representaron

diferencias significativas, esto indica que los protocolos no tuvieron efecto sobre la preñez, sino que otros factores fueron los que intervinieron en dichos resultados.

Sin embargo, otros autores indican que las tasas de preñez varían según la sal de estradiol utilizada, para protocolos que utilizan EB el porcentaje de preñez varía entre 45 - 47,5% (Ross *et al.* 2004), mientras que los que usan ECP es de alrededor de 56% (Colazo *et al.* 2004). Así mismo, Peralta-Torres *et al.* (2010) obtuvieron resultados similares (mejores porcentajes de preñez utilizando ECP) 51% de preñez para tratamientos con ECP y un 30% para EB, no obstante es probable que otros factores afecten, por ejemplo, la época del año, ya que en este caso se realizó en los meses más calurosos, lo que deprime el desarrollo y función folicular, además de alteraciones en el desarrollo temprano del embrión dándose unas bajas tasas de preñez. De igual forma, Torquati *et al.* (2011) obtuvieron mejores resultados con el uso del ECP (53% preñez) que con el uso de EB (48,2% preñez), lo que indica que los porcentajes de preñez mejoran con el uso del ECP, esto respecto a las sales de estradiol, sin embargo los autores concuerdan en que dicha diferencia se podrían deber a otros factores externos.

Otro factor que se debe tener en cuenta durante todo el proceso reproductivo es la CC, ya que animales con valores extremos (superior o inferior) presentan fallas en la producción hormonal que regula el ciclo estral (López 2006), por lo tanto animales con CC mayores a 4 o menores a 2 presentan bajos porcentajes de preñez (Hidalgo *et al.* 2011), esto debido a que se bloquea la actividad ovárica y alarga el anestro post parto en vacas con cría (Cuevas 2015). Además, Cutaia *et al.* (2003) indica que se obtiene buenos porcentajes de preñez para animales con CC entre 2,5 - 3; otro estudio obtuvo 42% de preñez para animales con $CC < 2,75$, 57% con una CC entre 2,75 - 3 y 62% para los animales con CC superior a 3 (García 2015), por lo tanto, los valores encontrados en las novillas (superiores a 3,75) de este estudio podrían haber influenciado en los bajos índices de preñez obtenidos. También, un crecimiento rápido en los animales destinados a reproducción, puede presentar inconvenientes si se produce una excesiva deposición de grasa, ya que puede afectar el funcionamiento del aparato reproductor como una disminución en la intensidad de celo, disminución de la tasa de concepción a primer servicio, entre otros o incluso presentarse celos silenciosos (McDonald 1999, Jiménez y Torres 2006).

Parece ser que el factor decisivo en el porcentaje de preñez para este estudio fue el grupo racial, donde es notoria la mejoría respecto a la parte reproductiva mediante la inserción de genes pertenecientes a la subespecie *Bos taurus*, lo que hace notar los

beneficios del uso de la heterosis. Además de esto, otros factores que posiblemente tuvieron influencia en los bajos índices de preñez fue el estrés, debido a que al momento de aplicación del protocolo y la inseminación se estaban realizando labores de construcción en la finca, además se registraron animales con CC mayores a 4, lo que pudo afectar el control hormonal del ciclo, además de posibles variaciones en condiciones de manejo y ambientales.

5.5 Relación beneficio-costo

En el Cuadro 7 se muestra la estimación de costos económicos para cada tratamiento hormonal, donde el costo por animal para el P1 (protocolo con GnRH) es de ₡7.328 (\$11,92), mientras que para el P2 (protocolo con E₂) es de ₡4.684 (\$7,62), lo que genera una diferencia de ₡2.643 (\$4,3) entre los dos protocolos.

Cuadro 7. Costo de las hormonas utilizadas en los protocolos

Ingrediente activo	Dosis	Costo por dosis (\$)*	Costo por dosis (₡)
Triple sal inorgánica (Viricida-bactericida)		0,30	183
Progesterona	1 unidad	5,02	3.090
Cloprostenol dextrógiro	0,15 mg	1,58	970
Benzoato de estradiol	2 mg	0,47	289
Cipionato de estradiol	0,5 mg	0,25	153
Acetato de Gonadorelina	0,1 mg	2,51	1.542

*Tipo de cambio al día 18/02/2019: \$1 = ₡615,12

Para obtener la relación beneficio-costo, se asume que los costos para ambos protocolos solo se tomó en cuenta los hormonales utilizados, sin incluir la compra de semen, ni mano de obra del inseminador, ni alimentación, ni ningún tipo de mano de obra en general, además, se tomó en cuenta el porcentaje de preñez alcanzado en cada protocolo, para corregir el costo por animal, que pasa de ser servido a preñado; como ingresos (beneficio) se tomó en cuenta que la vaca preñada produce un ternero al destete de 220 kg, el cual se vende a ₡885 por kilogramo de peso vivo (precio promedio en subasta al 18/02/2019, tipo de cambio \$1 = ₡615,12) y se le resta el costo por preñez para obtener los ingresos netos. Y luego se obtiene la relación beneficio-costo mediante una división de los beneficios entre los costos para determinar la viabilidad del proyecto, esto se aprecia en el Cuadro 8.

Sin embargo, en este estudio se presentaron tasas de preñez anormalmente bajas (4/29 para P1 y 3/29 para P2), lo cual dificulta la estimación de la relación beneficio-costos, por lo que se compara con un ensayo de campo realizado en Upala, donde se utilizaron los mismos protocolos, con una tasa de preñez de (16/29 para P1 y 16/36 para P2), los cuales son más esperados para la técnica; obteniéndose una relación beneficio-costos de 3,66 para P1 en URA y de 13,66 en Upala y de 4,30 para P2 en URA y de 17,47 en Upala, lo que indica que el uso de protocolos de IATF es una opción viable siempre y cuando se obtengan porcentajes de preñez cercanos al 50% y es aún más favorable el uso del protocolo con E₂ al ser más barato. Sin embargo la hipótesis del experimento era a nivel productivo, donde se obtuvo que ambos protocolos funcionan de igual forma con respecto a la actividad ovárica y preñez.

Cuadro 8. Datos para obtener la relación beneficio-costos para los distintos ensayos según los protocolos.

	P1 (GnRH)	P2 (E2)
Costo/animal servido	¢7.328	¢4.684
Tasa preñez URA	4/29	3/29
Porcentaje preñez URA	13,8	10,3
Tasa preñez Upala	16/29	16/36
Porcentaje preñez Upala	55,2	44,4
Costo preñez URA	¢53.128	¢45.279
Costo preñez Upala	¢13.282	¢10.539
Ingreso bruto	¢194.700	¢194.700
Ingreso neto URA	¢141.572	¢149.421
Ingreso neto Upala	¢181.418	¢184.161
Relación B/C URA	3,66	4,30
Relación B/C Upala	13,66	17,47

6. CONCLUSIONES

Bajo un sistema de confinamiento el grupo racial Simbrah F1 es más eficiente para ganar peso que la raza Brahman.

El desarrollo de los órganos del tracto reproductor incrementa conforme aumenta la edad de los animales.

Se obtuvo un mayor diámetro del cérvix y diámetro del cuerno uterino derecho para el grupo racial Simbrah F1 con respecto a la raza Brahman, congruente con el mayor desarrollo corporal de ese grupo racial.

El grupo racial no tuvo influencia sobre la cantidad de folículos presentes, no obstante, la cantidad aumentó conforme avanzaba la edad de los animales.

El grupo racial Simbrah F1 alcanzó la pubertad en promedio 2 meses más rápido que la raza Brahman, incluso en la última medición hubo un 60,71% de animales Simbrah F1 ciclando y solo un 33,33% de animales Brahman.

El grupo racial tuvo influencia sobre el diámetro del cuerpo lúteo neto, siendo mayor para los animales Simbrah F1.

Los animales que presentaron mayores concentraciones de P_4 presentaron menor cantidad de folículos clase 1 (≥ 10 mm), al día de aplicación de $PGF_{2\alpha}$ y al momento de inseminación.

El tamaño del folículo pre ovulatorio no se vio influenciado, por el hecho de que un animal estuviera ciclando o no, al momento del inicio del tratamiento. Tampoco la ciclicidad (presencia de cuerpo lúteo al inicio del tratamiento) afectó las concentraciones de progesterona al momento de aplicación de la prostaglandina, día de inseminación y 7 días pos inseminación.

Conforme aumenta el tamaño del cuerpo lúteo total y cuerpo lúteo neto aumentan las concentraciones de progesterona.

No se detectó que la preñez haya sido influenciada por las concentraciones de progesterona medida al momento de aplicación de la prostaglandina, día de inseminación y 7 días post inseminación.

Los protocolos utilizados tuvieron un mismo desempeño, es decir, a nivel

productivo tanto el protocolo 1 como el protocolo 2 tuvieron tasas de preñez similares.

Este estudio evidenció que el uso de cruces entre *Bos taurus* y *Bos indicus* mejora la fertilidad cuando se compara con el ganado Cebuino. El grupo racial Simbrah F1 tiene 6,39 veces más de probabilidad de quedar preñada que la Brahman.

Se obtuvieron porcentajes de preñez muy alejados a lo esperado para la técnica, probablemente debido a factores climáticos, de estrés y peso.

Al obtener un desempeño similar en ambos protocolos, los dos son viables en su uso, por lo tanto, en caso de que el protocolo en base a estradiol llegase a ser restringido, el uso de protocolos con GnRH es una alternativa adecuada.

A pesar del comportamiento similar de ambos protocolos, en términos económicos en la actualidad el estradiol es la mejor opción para el ganadero porque requiere menor inversión.

7. RECOMENDACIONES

Sería adecuado implementar el uso de cruces en el ganado costarricense para favorecerse con el efecto del vigor híbrido en cuanto a mejoras en la reproducción, para aprovechar ese potencial genético que marca la heterosis.

Para un estudio como este, se debe tener un mejor control sobre la alimentación y ganancia de peso de los animales para no alcanzar condiciones corporales hacia el extremo superior, ya que la literatura indica que valores extremos afecta la fertilidad, afectando los porcentajes de preñez. Esto quizá fue una de las razones para alcanzar una baja tasa de preñez.

De igual forma también se podría realizar estudios donde se realicen análisis de cortisol u otros parámetros para evaluar el efecto que tiene el estrés sobre la preñez.

Se recomienda el uso de ultrasonografías trans rectales antes de implementar el uso de protocolos de IATF, para conocer el estado reproductivo de los animales y así implementar esta técnica solo en animales viables (que no presenten quistes o algún problema reproductivo).

Se sugiere realizar una evaluación de los protocolos similar a esta en condiciones de pastoreo, con instalaciones adecuadas para el manejo de los animales para disminuir el posible efecto de estrés ocasionado por las condiciones en que se llevó a cabo este estudio.

El perfil hormonal evaluado debería incluir, además de progesterona, al menos estradiol y realizarlo de manera más intensiva para contar con información más detallada.

Seguir investigando en temas de manejo reproductivo de ganado de carne para brindarle alternativas a los ganaderos del país.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ABAN J.A., DELGADO R., MAGAÑA J.G., SEGURA J.C. 2008. Factores que afectan el porcentaje de gestación a 120 días posparto en vacas Cebú y cruza con Europeo en el Sureste de México. *Revista Avances en Investigación Agropecuaria* 12(1):45-56.
- AHMADZADEH A., CARNAHAN K., AUTRAN C. 2011. Understanding puberty and postpartum anestrus. *Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle*. 45-60.
- ALDANA G.N.E. 2007. Los signos físicos del celo y su relación con la fertilidad en el ganado lechero. Trabajo de grado para optar al título de técnico superior pecuario. Universidad de los Andes, Trujillo. 27p.
- ARAUJO G.A. 2004. Pubertad en la hembra bovina. Consultado el 16 de setiembre del 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/57-pubertad_en_la_hembra_bovina.pdf
- ASTIZ S., FARGAS O. 2013. Pregnancy per AI differences between primiparous and multiparous high-yield dairy cows after using double ovsynch or G6G synchronization protocols. *Theriogenology* 79: 1065-1070.
- ATKINS J.A., POHLER K.G., SMITH M.F. 2013. Physiology and Endocrinology of Puberty in Heifers. *Veterinary Clinics Food Animal Practice* 29: 479-492.
- AYRES H., MARTINS C.M., FERREIRA R.M., MELLO J.E., DOMINGUEZ J.H., SOUZA A.H., VALENTIN R., SANTOS I.C.C., BARUSELLI P.S. 2008. Effect of timing of estradiol benzoate administration upon synchronization of ovulation in suckling Nelore cows (*Bos indicus*) treated with a progesterone-releasing intravaginal device. *Animal Reproduction Science* 109: 77-87.
- BACH A. 2002. La reproducción del vacuno lechero: Nutrición y fisiología. XVII Curso de Especialización FEDNA. España. 24p.
- BALL P.J.H., PETERS A.R. 2004. *Reproduction in cattle*. Blackwell Publishing. Third Edition. Great Britain. 250p.
- BALLENT M., LANDI H.G., BILBAO G., DICK A. 2003. Pubertad, peso vivo y desarrollo corporal en diferentes biotipos bovinos productores de leche: Una

- actualización bibliográfica. Revista Información Técnica Económica Agraria (ITEA) 99(2): 130-138.
- BASTIDAS-MENDOZA P.S. 1999. Pubertad en novillas y toros Brahman. Revista de la Facultad de Agronomía LUZ 16:690-707.
- BAVERA G.A. 2000. Factores que afectan la pubertad. Consultado el 16 de setiembre del 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/02-factores_que_afectan_la_pubertad.pdf
- BAVERA G., BOCCO O., BEGUET H., PETRYNA A. 2005. Crecimiento, desarrollo y precocidad. Consultado el 12 de diciembre del 2018. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/05-crecimiento_desarrollo_y_precocidad.pdf
- BEEF REPRODUCTION TASK FORCE (BRTF). 2017. Beef cow protocols. Consultado el 25 de marzo del 2017. Disponible en <https://beefrepro.unl.edu/pdfs/Protocols%20for%20Sire%20Directories%202017.pdf>
- BERTIN S.I. 2008. Resistencia eléctrica en mucus vaginal durante el ciclo estral en vacas. Tesis Licenciatura, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 25p.
- BISINOTTO R.S., CHEBEL R.C., SANTOS J.E.P. 2010. Follicular wave of the ovulatory follicle and not cyclic status influences fertility of dairy cows. Journal Dairy Science 93: 3578-3587.
- BLEACH E.C.L., GLENCROSS R.G., KNIGHT P.G. 2004. Association between ovarian follicle development and pregnancy rates in dairy cows undergoing spontaneous oestrous cycles. Reproduction 127: 621-629.
- BO G.A., ADAMS G.P., PIERSON R.A., MAPLETOFT R.J. 1995. Exogenous control of follicular wave emergence in cattle. Theriogenology 43: 31-40.
- BO G.A., BARUSELLI P.S., MARTINEZ M.F. 2003. Pattern and manipulation of follicular development in *Bos indicus* cattle. Animal Reproduction Science 78: 307-326.

- BO G.A., CUTAIA L.E., SOUZA A.H., BARUSELLI P.S. 2008. Actualización sobre protocolos de IATF en bovinos de leche. III Simposio Internacional en Reproducción Animal. Londrina, Brazil. 95-110.
- BO G.A., CUTAIA L.E. 2014. Estado del arte en IATF: Factores que afectan sus resultados. Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Córdoba, Argentina. Consultado el 18 de mayo del 2017. Disponible en https://www.abspecplan.com.br/upload/library/Estado_del_arte_IATF.pdf
- BRITO R. 2009. Fisiología de la reproducción animal con elementos de biotecnología. Felix Varela, Cuba. 238p.
- BUTLER H.M., BUTLER A., ETCHEVERRY E., CESARONI G., CUTAIA L., ALBERIO R.H. 2015. El GDR y la adición de eCG después de un tratamiento de inducción de celo, ¿afectan la tasa de preñez de vaquillonas Angus de 12-15 meses en buen estado corporal? Revista Taurus 66:18-24.
- CALLEJAS S. 2004. Control farmacológico del ciclo estral bovino: Bases fisiológicas, protocolos y resultados. Revista Taurus 6 (24): 22-34.
- CARBALLO G.D.M. 2012. Superovulación en la primera onda folicular. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. 66p.
- CATALANO R., CALLEJAS S. 2001. Detección de celo en bovinos. Factores que la afectan y métodos de ayuda. Revista de Medicina Veterinaria 81:17-22.
- COLAZO M.G. 2014. Protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) en *Bos taurus*. Conferencia: Nuevas biotécnicas reproductivas utilizadas en la producción del ganado bovino. Consultado el 18 de mayo del 2017. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/262106065_Protocolos_de_inseminacion_artificial_a_tiempo_fijo_IATF_en_Bos_Taurus
- COLAZO M.G., KASTELIC J.P., MAPLETOFT R.J. 2003. Effects of estradiol cypionate (ECP) on ovarian follicular dynamics, synchrony of ovulation, and fertility in CIDR-based, fixed-time AI programs in beef heifers. Theriogenology 60: 855-865.
- COLAZO M.G., KASTELIC J.P., MARTINEZ M.F., WHITTAKER P.R., WILDE R., AMBROSE J.D., CORBETT R., MAPLETOFT R.J. 2004. Fertility following

fixed-time AI in CIDR-treated beef heifers given GnRH or estradiol cypionate and fed diets supplemented with flax seed or sunflower seed. *Theriogenology* 61: 1115-1124.

COLAZO M.G., MAPLETOFT R.J., MARINEZ M.F., KASTELIC J.P. 2007. El uso de tratamientos hormonales para sincronizar el celo y la ovulación en vaquillonas. *Ciencia veterinaria* 9(1):4-19.

COLAZO M.G., MARTINEZ M.F., SMALL J.A., KASTELIC J.P., BURNLEY C.A., WARD D.R., MAPLETOFT R.J. 2005. Effect of estradiol valerate on ovarian follicle dynamics and superovulatory response in progestin-treated cattle. *Theriogenology* 63: 1454-1468.

CUEVAS N. 2015. Preñez en vacas con cría con servicio artificial y/o natural. Tesina para optar por el grado de Veterinario. Universidad Nacional del centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil. 25p.

CUTAIA L.E., BO G.A. 2002. Uso de la tecnología de IATF en rodeos lecheros. Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Córdoba, Argentina. Consultado el 18 de mayo del 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/101-iatf_en_rodeos_lecheros.pdf

CUTAIA L.E. 2005. Programas de inseminación artificial a tiempo fijo: Análisis de costos e implementación. Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Córdoba, Argentina. Consultado el 18 de mayo del 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/38-costos_tiempo_fijo.pdf

CUTAIA L.E. 2006. Inseminación artificial a tiempo fijo (IATF): una herramienta para el mejoramiento genético. Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Córdoba, Argentina. Consultado el 18 de mayo del 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/60-ia_a_tiempo_fijo.pdf

CUATIA L.E., VENERANDA G., TRIBULO R., BARUSELLI P.S., BO G.A. 2003. Programas de inseminación artificial a tiempo fijo en rodeos de cría: Factores

que lo afectan y resultados productivos. V Simposio Internacional de Reproducción Animal. Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC). 119-132p.

DE LA VEGA A.C., JORRAT J.J., GHIGGIA L.R., GONZALES DEL PINO F., ARAOZ J., CRUZ M.L. 2014. Uso comparativo de GnRH o Benzoato de Estradiol en protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo en vacas lecheras. Revista Agronómica del Noroeste Argentino 34(2):104-106.

DCRC. 2017. Dairy cow synchronization protocols. Dairy cattle Reproductive Council. Consultado el 25 de marzo de 2017 disponible en http://www.dcrcouncil.org/media/Public/Dairy_Cow_Reproduction_Protocols_Final09302015.pdf

DIAZ F.J., ANDERSON L.E., WU Y.L., RABOT A., TSAI S.J., WILTBANK M.C. 2002. Regulation of progesterone and prostaglandin F₂ α production in the CL. Molecular and Cellular Endocrinology 191(1):65-80.

DISKIN M.G., AUSTIN E.J., ROCHE J.F. 2002. Exogenous hormonal manipulation of ovarian activity in cattle. Domestic Animal Endocrinology 23: 211-228.

DROST M., THATCHER W.W. 1992. Application of gonadotrophin releasing hormone as therapeutic agent in animal reproduction. Animal reproduction Science 28: 11-19.

FAJARDO-ZAPATA A., MENDEZ-CASALLAS F.J., MOLINA L.H. 2011. Residuos de fármacos anabolizantes en carnes destinadas al consumo humano. Universitas Scientiarum 16(1):77-91.

FAURE R., MORALES C. 2003. La pubertad de la hembra bovina: Aspectos fisiológicos. Revista Salud Animal 25(1):13-19.

FERNANDES P., TEIXEIRA A.B., CROCCI A.J., BARROS C.M. 2001. Timed artificial insemination in beef cattle using GnRH agonist, PGF₂ α and estradiol benzoate (EB). Theriogenology 55: 1521-1532.

FLORES-MARIÑELARENA A.F., ENRIQUEZ-BUENO E., ANCHONDO-GARAY A., GRADO-AHUIR J.A., RODRIGUEZ-MUELA C., RAMIREZ-GODINEZ J.A. 2013. Uso de benzoato de estradiol o GnRH en vaquillas sincronizadas con progesterona y PGF₂ α Tecno ciencia 7(1):17-24.

- FOLMAN Y., KAIM M., HERZ Z., ROSENBERG M. 1990. Comparison of methods for the synchronization of estrous cycles in dairy cows. 2. Effects of progesterone and parity on conception. *Journal Dairy Science* 73: 2817-2825.
- FORDE N., BELTMAN M.E., LONERGAN P., DISKIN M., ROCHE J.F., CROWE M.A. 2011. Oestrous cycles in *Bos taurus* cattle. *Animal Reproduction Science* 124: 163-169.
- FRANDSON R.D., LEE W., DEE A. 2003. *Anatomy and physiology of farm animals*. Sixth edition. Blackwell Publishing. Australia. 481p.
- GANMAA D. Y SATO A. 2005. The possible role of female sex hormones in milk from pregnant cows in the development of breast, ovarian and corpus uterin cancers. *Medical Hypothesis* 65:1028-1037.
- GARCIA A.T. 2015. Evaluación de la eficiencia de un protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo aplicado al ganado bovino de carne perteneciente a la agricultura familiar campesina de la provincia de Melipilla. Tesis de licenciatura. Universidad de Chile. Chile. 31p.
- GINTHER O.J. 2019. Intraovarian spatial and vascular harmony between follicles and corpus luteum in monovulatory heifers, mares and women. *Theriogenology* 128:31-39.
- GIRALDO J.J. 2007. Una mirada al uso de la inseminación artificial en bovinos. *Revista Lasallista de Investigación* 4(1):51-57.
- GRAJALES H., HERNANDEZ A., PRIETO E. 2006. Edad y peso a la pubertad y su relación con la eficiencia reproductiva de grupos raciales bovinos en el trópico colombiano. *Livestock Research for Rural Development* 18(10).
- HAFEZ E.S.E., HAFEZ B. 2002. *Reproducción e inseminación artificial en animales*. Mc Graw Hill Interamericana. 7^{ma} edición. Mexico. 509p.
- HESS B.W., LAKE S.L., SCHOLLJERGERDES E.J., WESTON T.R., NAYIGIHUGU V., MOLLE J.D.C., MOSS G.E. 2005. Nutritional controls of beef cow reproduction. *Journal Animal Science*. 83: E90-E106.
- HIDALGO L.G., CATENA M., PETREIGNE E.H., SEGUI R. 2011. Principales variables que afectan la preñez en rodeos de cría de la Cuenca del Salado. *Investigación Veterinaria* 13(1): 79-85.

- HOLM. D.E. 2013. Early determination of the reproductive potential of beef heifers using reproductive tract scoring, pelvimetry and transrectal ultrasonography. Tesis de doctorado, Universidad de Pretoria, Sudáfrica. 116p.
- HOLM D.E., THOMPSON P.N., IRONS P.C. 2009. The value of reproductive tract scoring as a predictor of fertility and production outcomes in beef heifers. *Journal of Animal Science* 87(6): 1934-1940.
- HOLMANN F., RIVAS L., PEREZ E., CASTRO C., SCHUETZ P., RODRIGUEZ J. 2007. La cadena de carne bovina en Costa Rica: Identificación de temas críticos para impulsar su modernización, eficiencia y competitividad. CIAT. Calí, Colombia. 75p.
- HONARAMOOZ A., ARAVINDAKSHAN J., CHANDOLIA R.K., BEARD A.P., BERTLEWSKI P.M., PIERSON R.A., RAWLINGS N.C. 2004. Ultrasonographic evaluation of the pre-pubertal development of the reproductive tract in beef heifers. *Animal Reproduction Science* 80:15-29.
- HUANCA W. 2001. Inseminación artificial a tiempo fijo en vacas lecheras. *Revista de Investigación Veterinaria de Perú* 12(2):161-163.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). 2014. VI Censo Agropecuario. Costa Rica.
- JIMENEZ B. E.J., TORRES V.M.P. 2006. Correlaciones entre espesor de la grasa dorsal, grasa en la décimo segunda costilla y área de lomo como parámetros reproductivos en ganado Brahman comercial. Trabajo de grado para optar al título de Médico Veterinario. Universidad de la Salle. Bogota. 121p
- JIMENEZ A., MANRIQUE C., MARTINEZ C. 2013. Evaluaciones de la raza Brahman y sus cruces para características de crecimiento y rendimiento cárnico. *Asocebú Colombia*. 393: 1-23.
- KASIMANICKAM R.K., WHITTIER W.D., HALL J.B., KASTELIC J.P. 2016. Estrous synchronization strategies to optimize beef heifer reproductive performance after reproductive tract scoring. *Theriogenology* 86: 831-838.
- LANE E, AUSTIN E. Y CROWE M. 2008. Oestrous synchronization in cattle-Current options following the EU regulations restricting use of oestrogenic compounds in food-producing animals: A review. *Animal Reproduction Science* 109:1-16.

- LOPEZ F.J. 2006. Relación entre condición corporal y eficiencia reproductiva en vacas Holstein. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad del Cauca 4(1):76-86.
- LOPEZ-GATIUS F. 2000. Short synchronization system for estrus cycles in dairy heifers: A preliminary report. Theriogenology 54:1185-1190.
- LOZANO R.R., VASQUEZ C.G., GONZALES E. 2005. Efecto del estrés calórico y su interacción con otras variables de manejo y productivas sobre la tasa de gestación de vacas lecheras en Aguascalientes, México. Revista Veterinaria México 36(3):245-260
- LUCIO R., SESENTO L., BEDOLLA J.L.C. 2016. Sincronización de celos utilizando GnRH y PGF_{2α} para inseminación artificial a tiempo fijo en bovinos productores de leche. Revista de Sistemas Experimentales 3(7):60-64
- MADERO S., DE DOMINICIS O., CANTALLOPS F., USLENGHI G., CALLEJAS S. 2012. Efecto de dos dosis de cipionato de estradiol y del rango horario para la IATF sobre la tasa de preñez en vaquillonas. Revista Veterinaria 23(1):46-48.
- MARTINEZ M.F., ADAMS G.P., BERGFELT D.R., KASTELIC J.P., MAPLETOFT R.J. 1999. Effect of LH or GnRH on the dominant follicle of the first follicular wave in beef heifers. Animal Reproduction Science 57:23-33.
- MARTINEZ M.F., KASTELIC J.P., ADAMS G.P., COOK B., OLSON W.O., MAPLETOFT R.J. 2002. The use of progestins in regimens for fixed-time artificial insemination in beef cattle. Theriogenology 57:1049-1059.
- NEGUSSIE E., BRANNANG E., ROTTMANN O.J. 1999. Reproductive performance and herd life of dairy cattle at Asella livestock farm, Arsi, Ethiopia. II: Crossbreds with 50, 75 and 87,5% European inheritance. Journal of Animal Breeding and Genetics 116:225-234
- NISWENDER G.D., SCHWALL R.H., FITZ T.A., FARIN C.E., SAWYER H.R. 1985. Regulation of luteal function in domestic ruminants: new concepts. Recent Progress in Hormone Research 41:101-151.
- NOGUEIRA G.P. 2004. Puberty in South American *Bos indicus* (Zebu) cattle. Animal Reproduction Science 82-83:361-372.

- ODDE K.G. 1990. A review of synchronization of estrus in postpartum cattle. *Journal Animal Science* 68:817-830.
- OJEDA A., MOLINA F., CARMONA D. SF. Crecimiento compensatorio una estrategia de manejo de la disponibilidad de pasturas. XI Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. 41-50p
- OLAZABAL J., SAN MARTIN F. 2008. Crecimiento compensatorio. Sistema de Revisiones en Investigación Veterinaria de San Marcos. 1-12p.
- ORELLANA J.C., PERALTA E.M. 2007. Manual de procedimientos para el laboratorio de transferencia de embriones en bovinos de la empresa Genetic Resources International (GRI) and Sexing Technologies. Tesis de licenciatura, Universidad Zamorano, Honduras. 42p.
- PEDROSO R., ROLLER F., RIVERO E. 2013. Factores que influyen en el crecimiento, comportamiento reproductivo y productivo de las novillas de reemplazo. *Ciencia y tecnología Ganadera* 7(1):1-25.
- PEGORER M.F., VASCONCELOS J.L.M., TRINCA L.A., HANSEN P.J., BARROS C.M. 2007. Influence of sire and sire breed (Gyr versus Holstein) on establishment of pregnancy and embryonic loss in lactating Holstein cows during summer heat stress. *Theriogenology* 67:692-697.
- PERALTA-TORRES J.A., AKE-LOPEZ J.R., CENTURION-CASTRO F.G., MAGAÑA-MONFORTE J.G. 2010. Comparación del cipionato de estradiol vs benzoato de estradiol sobre la respuesta a estro y tasa de gestación en protocolos de sincronización con CIDR en novillas y vacas *Bos indicus*. *Revista Universidad y Ciencia* 26(2):163-169.
- PESÁNTEZ E. 2015. Relación entre el tamaño del folículo pre ovulatorio diámetro del cuerpo lúteo y niveles de progesterona en el ganado bovino de la raza criolla. Tesis presentada para la obtención del título de Médico Veterinario Zootecnista. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. 21-45p
- PINHEIRO O.L., BARROS C.M., FIGUEIREDO R.A., DO VALLE E.R., ENCARNACAO R.O., PADOVANI C.R. 1998. Estrous behavior and the estrus to ovulation interval in Nelore cattle (*Bos indicus*) with natural estrus or estrus induced with prostaglandin F2 α or norgestomet and estradiol valerate. *Theriogenology* 49:667-681.

- PRADA J.A., CASTRO J.A., ARDILA A., CHACON L. 2013. Evaluación de un protocolo de inseminación a tiempo fijo con variaciones en los días de aplicada la dosis de prostaglandina en novillas Brahman puras y cruzadas. *Revista de Ciencia Animal* 6:161-175.
- PRIETO P.N., STAHRINGER R., VISPO P. 2016. Estudio de alternativas para mejorar los porcentajes de preñez en protocolos de IATF en bovinos. INTA. EEA Colonia Benítez. 8p.
- PURSLEY J.R., MEE M.O., WILTBANK M.C. 1995. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF2 α and GnRH. *Theriogenology* 44:915-923.
- RIERA T., RODAS A., RODRIGUEZ C., AVELLANEDA J., HUERTA N. 2004. Rasgos de crecimiento y pesos en canal de toros Brahman puros y F1 Brahman x *Bos taurus* criados y cebados semi-intensivamente en sabana mejorada. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 12 (1):66-72.
- RIVERA H. 2009. Revisión anatómica del aparato de las vacas. Dairy Cattle Reproduction Conference. 103(1):103-109
- ROBSON C., MAGLIETTI C., LOPEZ V., VOGEL O., CELSER R. 2007. Grado de desarrollo reproductivo (GDR): su utilización en vaquillas entoradas a los 18 meses. Consultado el 20 de julio del 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/101-grado.pdf.
- ROMERO G.D., ROMERO D.G. 2012. Evaluación de las tasas de preñez en vacas Holstein en lactancia comparando protocolos CIDR-Synch de 5 y 7 días. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Córdoba, Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Argentina. 12p.
- ROSS P.J., ALLER J.F., CALLEJAS S.S., BUTLER H., ALBERIO R.H. 2004. Estradiol benzoate given 0 or 24 h after the end of a progestagen treatment in postpartum suckled beef cows. *Theriogenology* 62:265-273.
- RUGELES C. 2001. Interrelaciones entre nutrición y fertilidad en bovinos. MVZ-Córdoba. 6(1):24-30.
- SALVADOR J. 2015. Efecto del momento de aplicación del benzoato de estradiol como inductor de la ovulación en un protocolo de IATF sobre la tasa de

- preñez en vacas de carne. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Córdoba, Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Argentina. 16p.
- SANCHEZ J. 2010. Evaluación productiva de cuatro cruces Simmental por Cebú en un sistema doble propósito en la altillanura Colombiana, Puerto López (Meta). Trabajo de grado para obtener el título de Zootecnista. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia. 57p.
- SANCHEZ A. 2011. Morfometría ovárica de hembras Cebú (*Bos Indicus*). *Cultura Científica* 5(5):61-64.
- SANTOS J.E.P., NARCISO C.D., RIVERA F., TATCHER W.W., CHEBEL R.C. 2010. Effect of reducing the period of follicle dominance in a timed artificial insemination protocol on reproduction of dairy cows. *Journal Dairy Science* 93:2976-2988.
- SARTORI R., BASTOS M.R., BARUSELLI P.S., GIMENES L.U., ERENO R.L., BARROS C.M. 2010. Physiological differences and implications to reproductive management of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle in a tropical environment. *Society of Reproduction and Fertility Supplement* 67:357-375
- SARTORI R., BARROS C.M. 2011. Reproductive cycles in *Bos indicus* cattle. *Animal Reproduction Science* 124:244-250.
- SAVIO J.D., THATCHER W.W., MORRIS G.R., ENTWISTLE K., DROST M., MATTIACCI M.R. 1993. Effects of induction of low plasma progesterone concentrations with a progesterone-releasing intravaginal device on follicular turnover and fertility in cattle. *Journal of Reproduction and Fertility* 98:77-84.
- STEVENSON J.S., PURSLEY J.R., GARVERICK H.A., FRICKE P.M., KESLER D.J., OTTOBRE J.S., WILTBANKS M.C. 2006. Treatment of cycling and noncycling lactating dairy cows with progesterone during ovsynch. *Journal Dairy Science* 89:2567-2578.
- STEVENSON J.S., TIFFANY S.M., LUCY M.C. 2004 Use of estradiol cypionate as a substitute for GnRH in protocols for synchronizing ovulation in dairy cattle. *Journal Dairy Science* 87:3298-3305.

- THATCHER W.W., DROST M., SAVIO J.D., MACMILLAN K.L., ENTWISTLE K.W., SCHMITT E.J., DE LA SOTA R.L., MORRIS G.R. 1993. New clinical uses of GnRH and its analogues in cattle. *Animal Reproduction Science* 33:27-49.
- TORQUATI S., CABODEVILA J., CALLEJAS S. 2011. Efecto de la administración de dos sales de estradiol al retirar un dispositivo intravaginal con progesterona sobre el porcentaje de preñez a la IATF en vacas con cría. *Revista Taurus* 13(50): 26-28.
- URROZ C. 2010. Elementos de anatomía y fisiología animal. EUNED, Costa Rica. 268p.
- USLENGHI G., CHAYER R., CALLEJAS S. 2010. Efectividad del cipionato de estradiol inyectado al final de un tratamiento con progesterona sobre la eficiencia reproductiva. *Revista Veterinaria* 21(1):55-58.
- VASQUEZ C.Y. 2017. Evaluación de los diferentes factores que afectan la reproducción bovina con relación a bienestar animal. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Córdoba, Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC). Argentina. 30p.
- VISHWANATH R. 2003. Artificial insemination: the state of the art. *Theriogenology* 59:571-584.
- WILTBANK M.C. 1994. Cell types and hormonal mechanisms associated with mid cycle corpus luteum function. *Journal of Animal Science* 72:1873-1883
- WINGCHING-JONES R. 2017. Indices productivos y reproductivos de fincas de cría de ganado bovino de carne en la zona Sur de Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED* 9(2):247-256.
- YAVAS Y., WALTON J.S. 2000. Postpartum acyclicity in suckled beef cows: A review. *Theriogenology* 54:25-55.
- YOUNG C.D., SCHRICK F.N., POHLER K.G., SAXTON F.A., DI CROCE F.A., ROPER D.A., WILKERSON J.B., EDWARDS J.L. 2017. Short communication: A reproductive tract scoring system to manage fertility in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science* 100(7):5922-5927.

9. ANEXO

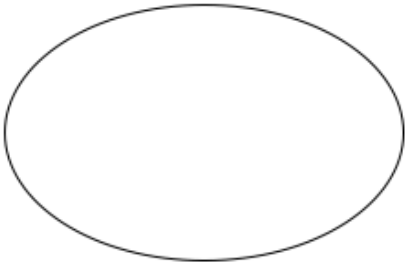
Anexo 1. Hoja de campo para recolección de datos de US y RTS

US y RTS

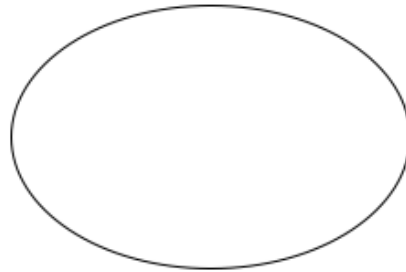
Fecha: _____ # animal: _____ Temp: _____ SPS: _____

Cérvix: _____ Diámetro cuerno derecho: _____

Textura del útero: _____ CC: _____



Tamaño ovario izq: _____

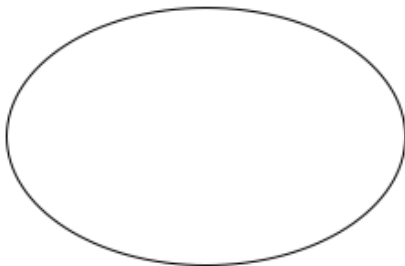


Tamaño ovario der: _____

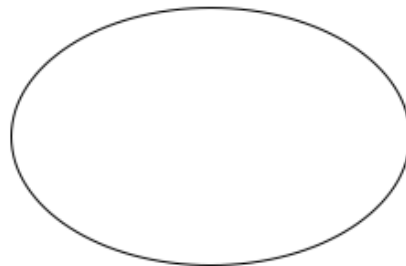
Fecha: _____ # animal: _____ Temp: _____ SPS: _____

Cérvix: _____ Diámetro cuerno derecho: _____

Textura del útero: _____ CC: _____



Tamaño ovario izq: _____



Tamaño ovario der: _____