

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DEL ESTRÉS POR CALOR SOBRE LA
FERTILIDAD DE VACAS *Bos indicus* Y CRUCES (*Bos
taurus* x *Bos indicus*) INSEMINADAS A TIEMPO FIJO EN
COSTA RICA**

Tesis presentada como requisito para optar por el grado
de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

ALONDRA MARÍA VENEGAS ZÚÑIGA

SANTA CLARA, SAN CARLOS, 2020



Carrera de Ingeniería en Agronomía
Campus Tecnológico Local
San Carlos
2019 - 2023


**EFFECTO DEL ESTRÉS POR CALOR SOBRE LA
FERTILIDAD DE VACAS *Bos indicus* Y CRUCES (*Bos taurus*
x Bos indicus) INSEMINADAS A TIEMPO FIJO EN COSTA
RICA**

ALONDRA MARÍA VENEGAS ZÚÑIGA


Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Dr. Leonel Navarro Rojas. DMV. M. Sc. _____
LEONEL ROBERTO NAVARRO ROJAS (FIRMA) Firmado digitalmente por
LEONEL ROBERTO NAVARRO ROJAS (FIRMA)
Fecha: 2020.08.25
16:14:24 -06'00'
Asesor principal (externo)

Ing. Agr. Julio Rodríguez González, M. Sc. _____
JULIO EDUARDO RODRIGUEZ GONZALEZ (FIRMA) Firmado digitalmente
por JULIO EDUARDO
RODRIGUEZ
GONZALEZ (FIRMA)
Fecha: 2020.08.25
16:32:54 -06'00'
Asesor interno

Ing. Zoot. Mónica Madrigal Valverde, M. Sc. _____
 MÓNICA MADRIGAL
VALVERDE (FIRMA)
Motivo: Firmado conforme
Fecha: 2020.08.25 12:48:34
-06'00'
Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA. _____
ZULAY CASTRO JIMENEZ (FIRMA) Firmado digitalmente por
ZULAY CASTRO JIMENEZ
(FIRMA)
Fecha: 2020.08.26 11:15:14
-06'00'
**Coordinadora
Trabajos Finales de Graduación**

Ing. Agr. Milton Villarreal Castro, PhD. _____
 Firmado digitalmente por MILTON
VILLARREAL CASTRO (FIRMA)
Motivo: He revisado este
documento
Fecha: 2020.08.26 14:55:14 -06'00'
**Director
Escuela de Agronomía**

DEDICATORIA

A Dios por darme las fuerzas y herramientas necesarias para sobrellevar todo lo que aconteció durante esta experiencia universitaria.

De manera especial a mi madre Martha Eugenia Zúñiga, ya que fue ella quien, a su manera, pero con mucho esfuerzo me enseñó las bases del orden, la constancia, responsabilidad, deseos de superación y sobre todo por confiar en mí.

A mi madrina Mauren Badilla Mora por abrirme las puertas de su hogar y su corazón, por los valores enseñados, por las muestras de cariño, apoyo y confianza, porque sin ningún interés me recibió como una hija e hizo en su hogar un lugar especial para mí.

A mi hermano Jairo Venegas Zúñiga, que, aunque no pueda vivir este logro conmigo, sé que siempre estuvo orgulloso de mi avance; porque con su partida me he aprendido a ver lo bueno en medio de las circunstancias.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios, a la Virgen y a los ángeles por haberme dado la fortaleza y sabiduría para terminar mi carrera.

Agradezco a mi familia por el apoyo, buenos deseos y la confianza depositada en mí desde el inicio de la carrera, a la familia González Monge, la familia Badilla Mora, Ervin Molina y todas las demás personas que en una u otra ocasión estuvieron dispuestos a abrirme las puertas de sus hogares cuando lo necesité para avanzar en mi etapa de aprendizaje.

A mi madre por su apoyo y sus buenos deseos siempre, a mis hermanos por el apoyo y la confianza, de manera especial a mi padre Gabriel Venegas Mora por hacerme ver mis objetivos lejos de mis manos, eso me ha ayudado a desarrollar herramientas para enfrentarme a la vida.

Mi agradecimiento también va dirigido a todas aquellas personas que me ayudaron de una u otra forma para la realización de este trabajo:

Muy especial a los profesionales el M. Sc DMV Leonel Navarro Rojas, M. Sc Julio Rodríguez, M. Sc Mónica Madrigal, asesores y lectores de este trabajo, por permitirme acudir a su capacidad y conocimiento científico, por la ayuda brindada durante todo el proyecto y los buenos deseos durante la tesis.

Al Dr. Jorge Morales por todo el apoyo desde el inicio de este proyecto, a todos los dueños de fincas, administradores y colaboradores que facilitaron el desarrollo de la investigación.

Asimismo, agradezco al Campus Tecnológico local San Carlos por todo el conocimiento que adquirí para poder ser una profesional, a las trabajadoras social María Salas y Andrea Pacheco por la confianza, y su esfuerzo de hacer de residencia un hogar. Y, por último, pero no menos importante, a mis amigos de la vida, amig@s y compañer@s de esta casa de estudios por estar ahí y formar parte de mi vida.

INDICE DE CONTENIDO

Página

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	v
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivo general	4
1.4 Objetivos específicos.....	4
1.5 Hipótesis de investigación	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Estado actual de la producción bovina.....	5
2.2 Reproducción de ganado en el trópico.....	5
2.3 Estrés por calor o Índice de Temperatura-Humedad (ITH).....	7
2.4 El ciclo estral en bovinos.....	9
2.5 Estrés por calor y su efecto en el ciclo estral	10
2.6 Efecto del estrés por calor sobre el desarrollo embrionario.....	11
2.7 Influencia de la temperatura rectal en la reproducción.....	12
2.8 Otros factores que influyen sobre la reproducción	13
3 MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 Localización.....	16
3.2 Periodo de estudio.....	17
3.3 Tamaño de la muestra.....	18
3.4 Material experimental	18
3.5 Procedimiento	19
3.5.1 Protocolo de sincronización	19

3.5.2	Determinación de la Temperatura Rectal (TR)	20
3.5.3	Inseminación artificial a tiempo fijo (IATF)	20
3.6	Variables de respuesta.....	21
3.6.1	Índice de temperatura-humedad (ITH).....	21
3.6.2	Temperatura rectal.....	22
3.6.3	Diagnóstico de preñez	22
3.6.4	Porcentaje de preñez.....	22
3.7	Análisis estadístico	22
4	Resultados y discusión.....	23
4.1	Caracterización general de las fincas y regiones	23
4.2	Impacto del ITH sobre la preñez	25
4.3	Relación entre la TR y el ITH	30
4.4	Temperatura Rectal sobre la preñez	32
4.5	Otros factores asociados a fertilidad	33
5	Conclusiones.....	36
6	Recomendaciones.....	37
7	BIBLIOGRAFÍA	38
8	ANEXOS	52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N.º	Descripción	Página
Cuadro 1.	Ubicación política y geográfica de los sistemas de producción según región y finca, Costa Rica, 2019.	17
Cuadro 2.	Número de animales por composición racial (cruces <i>Bos taurus</i> x <i>Bos indicus</i> y <i>Bos indicus</i>) según sistema de producción y su respectivo periodo de tiempo de la investigación, Costa Rica, 2019.....	18
Cuadro 3.	Comportamiento general de los resultados obtenidos por finca y región de las diferentes variables estudiadas, Costa Rica, 2020.	23
Cuadro 4.	Frecuencias observadas de vacas preñadas o vacías con TR <39,1°C o ≥ 39,1°C en las diferentes fincas, Costa Rica, 2019.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N. ^a	Descripción	Página
Figura 1.	Cronograma de aplicación en protocolo de IATF utilizado en el desarrollo de la investigación, Costa Rica, 2020	20
Figura 2.	Porcentaje de preñez de las hembras inseminadas a tiempo fijo por región, Costa Rica, 2019	24
Figura 3.	Porcentaje de preñez de las hembras inseminadas a tiempo fijo según la categoría de ITH presente en la finca cuatro días post sincronización, Costa Rica, 2019. Categoría 0 (72,5 – 75), categoría 1 (75 - 77,5), categoría 2 (77,5 - 80) y categoría 3 (80 – 82,5).	25
Figura 4.	Porcentaje de preñez de las hembras inseminadas a tiempo fijo según la categoría de ITH presente en la finca el día de la inseminación artificial a tiempo fijo, Costa Rica, 2019. Categoría 0 (72,5 - 75), categoría 1 (75 - 77,5), categoría 2 (77,5 - 80) y categoría 3 (80 – 82,5).	27
Figura 5.	Porcentaje de preñez de las hembras inseminadas a tiempo fijo según la categoría de ITH presente en la finca el D9 posterior a la IATF, Costa Rica, 2019. Categoría 0 (72,5 - 75), categoría 1 (75 - 77,5), categoría 2 (77,5 - 80) y categoría 3 (80 - 82,5).....	28
Figura 6.	Porcentaje de preñez de las hembras inseminadas a tiempo fijo según la categoría de ITH presente en la finca 16 días post inseminación, Costa Rica, 2019. Categoría 0 (72,5 - 75), categoría 1 (75 - 77,5), categoría 2 (77,5 - 80) y categoría 3 (80 - 82,5).	30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N.º	Descripción	Página
Anexo 1.	Representación gráfica de la ubicación de las fincas según su ubicación geográfica, Costa Rica, 2020	52
Anexo 2.	Certificación de evaluación del semen de los toros utilizados en el proyecto. Evaluado por el Laboratorio de Andrología – Escuela de Medicina Veterinaria-UNA.....	53
Anexo 3.	Correlación lineal obtenida entre el ITH y la TR el día de la IATF, Costa Rica, 2020.	53

LISTA DE ABREVIATURAS

Condición corporal: CC

Defectos no compensables: DNC

Día 4: D4

Día 9: D9

Día 16: D9

Estrés por calor: EC

Espermas viables: EV

Hormona Folículo Estimulante: FSH

Hormona liberadora de gonadotropina: GnRH

Hormona Luteinizante: LH

Índice de temperatura-humedad: ITH

Inseminación Artificial: IA

Inseminación Artificial a tiempo fijo: IATF

Intervalo entre parto: IEP

Posterior a la sincronización: PS

Temperatura Rectal: TR

RESUMEN

El estrés por calor (EC) es un factor importante que contribuye a la baja fertilidad en el ganado expuesto a ambientes cálidos, debido a una reducción en el rendimiento reproductivo asociado con la disminución de la capacidad termorreguladora de las hembras. Esta revisión resume el efecto del EC sobre la fertilidad en hembras *Bos indicus* y cruces (*Bos taurus* x *Bos indicus*) inseminadas a tiempo fijo en Costa Rica. El desarrollo del estudio se llevó a cabo en siete fincas distribuidas en las regiones Caribe, Pacífico Central, Pacífico Norte y Pacífico Sur, en el periodo de marzo a julio 2019. Se incluyeron un total de 159 hembras de las razas *Bos indicus* y cruces (*Bos taurus* x *Bos indicus*) en una condición corporal (CC) entre 5 -6, sin problemas de renqueas, ni lesiones externas visibles, suplementación *ad libitum* de minerales aminoquelatados con al menos seis meses previo al inicio del proyecto. Respecto a la condición reproductiva se incluyeron hembras con presencia de ciclicidad ovárica (presencia de cuerpo lúteo) y sin anomalías presentes en cervix u ovarios. Por otra parte, se utilizó semen congelado proveniente de toros *Bos taurus* evaluados con concentración espermática >10 millones de espermatozoides viables, y con un máximo de 15% de morfoanomalías no compensables. Para el análisis del estudio se realizaron tablas de contingencia para determinar la frecuencia entre las tasas de preñez según los parámetros de clasificación por finca, región, ITH y categoría de temperatura rectal (TR). Además, se realizó una correlación lineal entre el ITH el día de la IATF y la TR del mismo día. Se determinó que valores de ITH entre 72,5 – 82,5 no tuvieron efecto significativo sobre los porcentajes de preñez obtenidos, además se obtuvo una correlación lineal nula $p=0,9058$, lo cual indica que el comportamiento de la TR no está dado como consecuencia del incremento del ITH. En cuanto a la categoría de temperatura rectal (TR) se determinó que valores de TR $\geq 39,1^{\circ}\text{C}$ disminuyen significativamente la preñez respecto a hembras con TR $< 39,1^{\circ}\text{C}$. Se concluye que las características genéticas aportadas por el *Bos indicus* permiten la adaptación a condiciones de ITH de hasta 82 desde la sincronización hasta 16 días posterior a la IATF sin afectar los porcentajes de preñez tanto en las hembras *Bos indicus* como cruces.

ABSTRACT

Heat stress (EC) is an important factor contributing to low fertility in cattle exposed to hot environments; reduced reproductive performance is associated with decreased female thermoregulatory capacity. This review summarizes the effect of EC on fertility in females of *Bos indicus* cows and crossbreeds (*Bos taurus* x *Bos indicus*) inseminated at fixed time in Costa Rica. The development of the study was carried out seven farms distributed in the Caribbean, Central Pacific, North Pacific and South Pacific regions, from March to July 2019. A total of 159 females of the *Bos indicus* and crossbreeds were included (*Bos taurus* x *Bos indicus*) with a body condition (CC) score between 5 -6, no problems with cramps, or visible external injuries, ad libitum supplementation of amino-chelated minerals with at least six months of starting the project. According to the reproductive condition, females with the presence of ovarian cyclicity (presence of the corpus luteum) and without abnormalities present in the cervix or ovaries were included. On the other hand, frozen semen from *Bos taurus* bulls evaluated with sperm concentration > 10 million sperm viable per straw was used, and with a maximum of 15% of non-compensable morphoanomalies. For the analysis of the study, contingency tables were made to determine the frequency between pregnancy and the classification parameters by far classification parameters by farm, region, ITH and rectal temperature category (TR). In addition, a linear correlation was made between the ITH on the day of the IATF and the TR on the same day. It was determined that ITH values between 72.5 - 82.5 had no significant effect on the pregnancy percentages obtained, in addition, a null linear correlation was obtained $p = 0.9058$, which indicates that the behavior of the TR is not given as a consequence of the increase in ITH Regarding the rectal temperature category (TR), it was determined that TR values ≥ 39.1 ° C significantly decrease pregnancy compared to females with TR <39.1 ° C. It was determined that the genetic characteristics provided by *Bos indicus* allow adaptation to ITH conditions of up to 82 from synchronization to 16 days after IATF without affecting pregnancy percentages in both *Bos indicus* females and crossbreeds.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad en Costa Rica el sector agropecuario se considera una actividad importante en el desarrollo del país, participa en un 13,5% del valor agregado en actividades primarias del sector, aumentado 0,9% respecto al 2014 (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria 2019). Además, el Instituto Nacional de Estadística y Censos, Costa Rica (2019) reveló un aumento en el número de cabezas de ganado vacuno, donde cuantificó 1 497 551 animales destinados a carne y leche, respecto a 1 278 817 determinadas en el Censo Nacional Agropecuario del 2014, lo cual demuestra una condición favorable para el futuro cercano de la actividad.

De acuerdo con lo anterior, la actividad ganadera se encuentra en repunte, siendo el sector de carne el más favorecido, ya que según datos del INEC (2019) 52,35% del hato fue destinado para la producción de carne en el 2017, respecto a 42,1% en el 2014. No obstante, un factor importante que repercute sobre la productividad animal a nivel nacional es la reproducción, la cual se muestra en estadísticas realizadas por CORFOGA (2015) en fincas piloto, en donde se reveló que se producen 0,27 terneros/vaca/año, siendo este un dato alarmante en relación con parámetro esperado de ternero/vaca/año (Salgado *et al.* 2007).

Progresivamente se han realizado esfuerzos para la mejora en el sistema de producción, según el INEC (2019) se han implementado planes de mejora en la calidad y disponibilidad del forraje, donde el 95,9% de las fincas ganaderas predomina la presencia de pastura mejorada en combinación con pasturas naturales. Así mismo, se han incorporado herramientas para mejorar la eficiencia reproductiva, como se puede destacar la inseminación artificial (IA), considerada como el método de reproducción animal asistido con mayor trascendencia en las últimas décadas, caracterizada por ser de fácil acceso y el cual facilita obtener animales de una genética superior, generando la oportunidad de mejorar el pie de cría de las explotaciones ganaderas (Charris 2000; Tschopp 2013; Garnica 2016).

No obstante, los sistemas de producción de ganado bovino a nivel nacional se exponen a pérdidas asociadas al estrés por calor (EC) que impactan el rendimiento productivo. Lo anterior debido a que el estrés que experimenta un animal está compuesto por la combinación de tres componentes: condiciones ambientales, susceptibilidad del animal y manejo del hato, y el nivel de impacto se refleja en aumento de la mortalidad, disminución en la reproducción y menor rendimiento (St- Arias *et al.* 2012; Cooke *et al.* 2011)

En el trópico, el éxito reproductivo en los bovinos se ve altamente afectado por la alimentación y el EC, que influyen sobre la función ovárica, la expresión del estro, la viabilidad de los ovocitos y el desarrollo embrionario (Biggers *et al.* 1987; Lucy, 2002). Sin embargo, existe una mayor susceptibilidad en el ganado *Bos taurus*, en donde reportes de laboratorio han demostrado que en ovocitos provenientes de hembras *Bos taurus* expuestos a EC se redujo el número blastocistos formados respecto a *Bos indicus* (Silva *et al.* 2013).

Según datos del INA (2002) por su ubicación geográfica, el trópico es considerado como una zona poco favorable para alcanzar el éxito reproductivo, debido a las condiciones ambientales presentes. Sumado a condiciones propias de los sistemas de producción que limitan el acceso a la sombra por las grandes extensiones de gramínea como monocultivo (Panadero 2010).

1.2 Justificación

Los sistemas de producción de ganado de carne han sido limitados por el poco o nulo control de los parámetros reproductivos (Rodríguez *et al.* 2009). A su vez, el éxito de un sistema de ganadería de carne radica en producir la mayor cantidad de terneros por año y lograr hembras con intervalos entre partos (IEP) próximos a doce meses, sin embargo, esos periodos son extendidos en las condiciones de tropicales (Salgado *et al.* 2007).

En el caso de la productividad agropecuaria en Costa Rica, esta se ve afectada por factores climáticos debido a su posición geográfica, ya que se expone a

eventos hidrometeorológicos periódicos que impactan negativamente las actividades agropecuarias como lo son las sequías o inundaciones, aunado a condiciones como elevada temperatura ambiental y humedad relativa (Ríos e Ibrahim 2008). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2017) la ganadería es una de las actividades mayormente afectada por el cambio climático, ya que afecta directamente a los animales a través de fenómenos extremos como sequías que generan aumento en el calor, e indirectamente mediante la disminución de los forrajes.

Las variaciones de la humedad y la temperatura son condiciones que predisponen al animal a estrés, principalmente al disconfort calórico, dando como resultado afectaciones en la reproducción y estado general del animal. En Costa Rica, a pesar de las condiciones climáticas que presenta, el efecto por ITH o EC ha sido poco estudiado. Se reporta el efecto del ITH sobre aspectos producción en ganadería de leche (Ruiz *et al.* 2019). Mientras que en ganado *Bos indicus* (Díaz *et al.* 2018) evalúan la influencia del ITH y la variación del espesor de grasa en el desempeño reproductivo en programa de monta natural.

A pesar de que el ganado *Bos indicus* se ha reportado como menos susceptible a condiciones cálidas, los reportes a nivel nacional indican un promedio de preñez por IA alrededor del 50%, lo cual compromete la productividad del sistema. Diferentes estudios a nivel nacional evalúan parámetros como CC, la calidad seminal y ciclicidad ovárica, sin embargo, no son considerados en la mayoría de los programas. Con este estudio se pretende evaluar el efecto del ITH en la preñez en ganado cruces y *Bos indicus* previendo factores que disminuyen el porcentaje de preñez.

Por lo tanto, aprovechando la organización existente entre los diferentes entes interesados en la presente investigación, la disponibilidad de personal especializado en reproducción animal, homogeneidad en las hembras de cada finca en el estudio, la previa evaluación de la calidad seminal del semen importado de toros Charolais y la distribución de las fincas por las diversas zonas geográficas de Costa Rica, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del EC sobre la fertilidad de las

hembras bovinas inseminadas a tiempo fijo, dentro del marco del proyecto “Manejo del hato como estrategia para maximizar la fertilidad y cosecha de crías F1 Brahman-Charolais

1.3 Objetivo general

- Determinar el efecto del estrés calórico sobre el índice de preñez en programas de Inseminación Artificial a tiempo fijo en vacas *Bos indicus* y cruces *Bos taurus* x *Bos indicus* sistemas de ganado de carne en diferentes zonas de Costa Rica.

1.4 Objetivos específicos

- Determinar el Índice de Temperatura-Humedad ambiental de cada finca el día 4 posterior al inicio de la sincronización hormonal, el día de la inseminación artificial y los días 9 y 16 posterior a la inseminación a tiempo fijo de las hembras bovinas.
- Determinar la tasa de preñez de las hembras *Bos indicus* y cruces *Bos taurus* x *Bos indicus* inseminadas a tiempo fijo en las diferentes fincas y regiones del país donde se desarrolló el estudio.
- Comprobar la asociación entre la temperatura rectal y el ITH al momento de la IA y su efecto sobre la tasa de preñez alcanzada mediante la Inseminación Artificial a tiempo fijo.

1.5 Hipótesis de investigación

El ITH y la temperatura rectal tienen efecto sobre al menos una etapa reproductiva (inicio de la onda folicular, ovulación, reconocimiento materno e implantación) en hembras *Bos indicus* y cruces *Bos taurus* x *Bos indicus* inseminadas a tiempo fijo en Costa Rica.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Estado actual de la producción bovina

La producción de carne a nivel mundial durante la última década incrementó a una tasa promedio anual de 0,6% (FIRA 2019). Según datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA 2020) al finalizar el 2019 se reportó una producción de 61 675 millones de toneladas de peso en canal bovina, el valor más alto en los últimos años. Sin embargo, el pronóstico de la producción de carne de vacuno para el 2020 se proyecta marginal, esto debido a que las interrupciones mundiales a causa del COVID-19 suprimen la demanda de carne de res, además de ser reemplazadas por proteína más barata (USDA 2020).

En Costa Rica, la actividad ganadera representa el 28,5% de las actividades en la producción de las fincas y se caracteriza por ser un sector que genera divisas y empleos en todos los eslabones de la agrocadena, siendo este sector considerado como de alto impacto económico, social y ambiental (INEC 2015). No obstante, los bajos niveles en la productividad ganadera a nivel nacional son influenciados por efectos como explotación extensiva o semi-intensiva, el manejo de los sistemas y las condiciones climáticas presentes (FCGG 2007; Cardona 2016).

Por su ubicación geográfica nuestro país se encuentra en la región meridional de América Central, caracterizado como un país tropical (INA 2002). Según Góngora y Hernández (2010) las condiciones climatológicas a lo largo del año exponen a las hembras bovinas a periodos de altas temperaturas que pueden alterar el desarrollo folicular, la expresión del celo, la implantación embrionaria, el desarrollo del embrión, la gestación, el parto y el regreso a ciclicidad posparto. Sin embargo, estos efectos se ven marcados en ganado *Bos taurus* debido a la menor capacidad de disipar calor corporal comparado con individuos *Bos indicus* y a su mayor tasa metabólica, pese a esto, las alteraciones que se generan dependen de la adaptación de los animales al ambiente (Hansen, 2004).

2.2 Reproducción de ganado en el trópico

En los últimos años la ganadería de carne nacional experimentó un aumento en el número de cabezas de ganado destinado a este sistema de producción INEC

(2019), sin embargo, la baja tasa de fertilidad repercute sobre la productividad y eficiencia de estos sistemas. La tasa promedio anual de parición en los hatos de carne en países del istmo desde los años 90's se ha mantenido cercana a un 50% (Müller, 1991; Chacón 2000; Chacón 2009).

Los bovinos en el trópico se exponen a problemas reproductivos debido a las condiciones ambientales que la región presenta. Las altas temperaturas afectan el desarrollo folicular y la producción de la hormona luteinizante (LH), repercutiendo en un retardo en la ovulación, o incluso la ausencia de este proceso (Ptaszynska 2007). Las vacas que manifiestan celo durante la época de verano disminuyen el comportamiento sexual típico en este periodo, debido a que el impacto de las altas temperaturas provoca una reducción del animal en su actividad física, volviendo difícil la detección del estro (Góngora y Hernández 2010).

Por otra parte, la deficiencia en la cantidad y calidad de forraje a causa condiciones ambientales repercuten frecuentemente en la eficiencia reproductiva del ganado, principalmente por poca o nula suplementación de los animales en periodos de escasez (Magaña *et al.* 2002).

Los cambios en la adaptación involucrados en la adquisición de termo tolerancia se derivan de cambios en la expresión génica y/o la actividad bioquímica de las moléculas que le permite adaptarse a regiones tropicales, subtropicales y desérticas (López *et al.* 2012). La exposición a temperaturas elevadas tiene efectos menos nocivos en las células del ganado cebú (*Bos indicus*) que en el europeo (*Bos taurus*), ya que presenta células sudoríparas de gran tamaño y características del pelaje que favorecen la pérdida de calor (Hansen 2004).

El ganado cebú cuenta con características que favorecen su adaptación en el trópico, sin embargo, estos animales se ven afectados a nivel reproductivo por influencias fisiológicas y de comportamiento, debido a la mayor presencia de celos nocturnos, anestro, celos de corta duración y poca intensidad dificultando

la detección de estos (Villa *et al.* 2007; Prada *et al.* 2013). Asimismo, otros factores como la condición corporal (CC), el periodo de lactancia, número de partos, enfermedades reproductivas, entre otros, son fundamentales para reiniciar el ciclo estral de la vaca en el posparto (Uchuari 2013).

2.3 Estrés por calor o Índice de Temperatura-Humedad (ITH)

Se conoce como EC el fenómeno que se da cuando un organismo que se ve expuesto a condiciones climáticas húmedas y/o cálidas, no es capaz de mantener la temperatura corporal estable, sino que se sobrepone al calor existente, generando un desequilibrio en la temperatura normal (Moráis *et al.* 2008). Conforme el calor ambiental se acerca a la temperatura corporal, las vías de eliminación de calor por parte de los animales, como la convección, conducción y radiación se tornan ineficientes, siendo la evaporación la única estrategia funcional para disipar calor utilizando la respiración y la piel para realizar este proceso (González *et al.* 2016).

La exposición prolongada de los animales a condiciones adversas como el EC afecta la productividad ganadera tanto de leche como de carne, desencadenando problemas a nivel fisiológico, gastrointestinal y metabólicos que afectan la función productiva y reproductiva, lo cual pone en riesgo el potencial de cada animal e inclusive hasta provocar la muerte de este (Dikmen y Hansen 2009 y Brown-Brandl 2018).

Debido al impacto del EC en la actividad ganadera se han realizado numerosos esfuerzos para identificar los umbrales en los que los animales comienzan a sufrir estrés térmico, sin embargo, la manera más acertada es por medio de la respuesta de cada animal (Armendano *et al.* 2015).

La temperatura ambiental y la humedad relativa se han determinado como los principales parámetros responsables del EC, asimismo se ha demostrado que existen otros parámetros como la radiación solar, la precipitación y la velocidad del viento que influyen sobre el estrés del animal (Gaughan *et al.* 2008).

Por este motivo, se ha determinado el ITH como una herramienta sencilla utilizada para estimar el riesgo de estrés al cual se exponen los animales, y se obtiene por medio de una fórmula matemática en donde se usan los valores de temperatura y humedad ambiental para así obtener un solo número utilizable (Armendano *et al.* 2015; Capó y Senosiaín 2015). A partir del ITH se han generado diferentes modelos que se ajustan a los diferentes sistemas, para el desarrollo de este estudio se utilizó la fórmula $ITH: 1.8T + 32 - (0.55 - 0.55HR/100) * (1.8T - 26)$, la cual incluye las principales variables predictoras de EC.

El rango de afectación del ITH se ha categorizado en función de la gravedad del evento, no obstante, las definiciones de gravedad varían entre los investigadores, las condiciones y los animales de cada estudio (Polsky y von Keyserlingk 2017). Según Ruiz *et al.* (2019) la categorización de gravedad de afectación utilizado con ganado de leche cruces *Bos indicus x Bos taurus* fue de $ITH < 74$ clasificado como de alerta, entre 74 y 79 de peligro y valores entre 79 y 84 se clasifican como de emergencia, observando reducción en la producción de leche a partir de 73,5, mientras que Rensis *et al.* (2015) demuestra la presencia de signos de estrés en ganado de leche con valores de ITH entre 68 y 74, además de asegurar que las pérdidas drásticas en la producción se dan a partir de valor de 75.

Viguera *et al.* (2019) por su parte determinaron que la exposición a $ITH <$ entre 72 y 79 generan efectos leves, generando los primeros síntomas de EC como busca de sombra, aumento en la tasa de respiración y dilatación de los vasos sanguíneos; valores de ITH entre 80 y 89 se caracteriza como moderado, en donde los animales presentan mayor producción de saliva y tasa de respiración, e inicia un aumento en la temperatura corporal y disminución en la producción de leche, mientras que valores entre 90-98 se clasifica como severo, en estas condiciones se da un aumento excesivo de la producción de saliva y tasa de respiración, así como la disminución notable en la producción de leche y por

último valores superiores a 98, denominados peligrosos y caracterizado por aumentar la posibilidad de muerte.

Para ganado *Bos indicus* los valores de afectación de preñez se han obtenido a partir de 84, sin embargo, a partir 72 presenta un aumento significativo en la tasa de sudoración (Wang *et al.* 2015). Asimismo, Santana *et al.* (2018) reportan una reducción de preñez en ganado Nelore cuando el ITH aumento de 82 a 88, siendo aún mayor el impacto cuando es superior a 84, destacando que la probabilidad de que una novilla conciba en ITH igual a 88 sea 4.67% menor que la de una novilla expuesta a un ITH promedio de 82.5 durante la temporada de reproducción.

Por otra parte, cabe destacar que las afectaciones del EC dependen de capacidad de adaptación individual y las características de cada animal, dentro de los que se mencionan color de pelaje, sexo, temperamento, historial de salud, aclimatación y CC, por lo que conocer los factores de riesgo es de suma importancia para facilitar la implementación de herramientas de manejo (Gaughan *et al.* 2008).

2.4 El ciclo estral en bovinos

El ciclo estral de las hembras bovinas consiste en un proceso dinámico, continuo y dependiente de la interacción de órganos de los sistemas, nervioso, endocrino y reproductivo, algunas hormonas y efectos medio ambientales. El crecimiento y desarrollo de los folículos y el cuerpo lúteo está regulado por la interacción coordinada entre los órganos y las hormonas (Ptaszynska 2007).

Cuando una hembra alcanza la pubertad ocurren variaciones en su aparato reproductor como respuesta a distintas cantidades de hormonas que interactúan en la reproducción durante esta etapa (Palomera *et al.* 2009). En una hembra no gestante los cambios o ciclos ocurren cada 21 días en promedio, sin embargo, este periodo puede variar por diversos factores que provocan inconsistencia en la duración de los ciclos (Pulley 2014).

Según D'Enjoy *et al.* (2012) existe un patrón de ondas foliculares para el desarrollo de un folículo dominante, las hembras cebuínas pueden tener de dos a cuatro ondas, mientras que las taurinas oscilan entre dos o tres. Durante el ciclo

estral la Hormona Liberadora de las Gonadotropinas (GnRH) se difunde hasta las células de la adenohipófisis, en donde estimula la producción y secreción de las hormonas hipofisiarias denominadas Hormona Folículo Estimulante (FSH) y LH, las cuales juegan un papel fundamental en el desarrollo folicular y la ovulación de este. La FSH es la encargada del proceso de la esteroidogénesis ovárica, crecimiento y maduración folicular, y la LH por su parte interviene en el proceso ovulación, formación y mantenimiento del cuerpo lúteo (Evans y Canty 2004).

El folículo dominante está influenciado por distintas concentraciones de hormonas como la progesterona, cuando los niveles son altos se previene la ovulación del folículo dominante, convirtiéndolo en un folículo subordinado, mientras que cuando se disminuye la concentración de progesterona, la hormona LH aumenta y junto con ella la influencia del estradiol produce la ovulación del folículo dominante (Evans y Canty 2004).

2.5 Estrés por calor y su efecto en el ciclo estral

El EC es un elemento importante a considerar cuando se trata de reproducción bovina, diferentes estudios han demostrado que los efectos del EC sobre la reproducción pueden reflejarse durante todo ciclo estral, ya que interfiere sobre la secreción natural de hormonas necesarias para el desarrollo del ciclo, tales como la FSH, LH, estrógenos y progesterona, provocando que se altere el comportamiento reproductivo del animal y la composición del líquido folicular para el desarrollo del folículo (Schüller *et al.* 2017; Aguiar *et al.* 2020).

La alteración de las hormonas durante el EC ha demostrado repercusiones en la función reproductiva como reducción en el tamaño de los folículos y menor concentración de estrógenos en vacas entre 12 y 21 días del ciclo estral (Góngora y Hernández 2010). Asimismo, altas temperaturas ambientales han demostrado generar una reducción significativa en el crecimiento, número y calidad de ovocitos (Ptaszynska 2007).

Por otra parte, la exposición de las vacas a EC manifestó una disminución en la duración del proestro, reducción en el tamaño del folículo dominante

seleccionado, mayor cantidad de ondas foliculares y fases lúteas de larga duración (Góngora y Hernández 2010). La reducción del tamaño folicular está influenciada por la disminución en la capacidad esteroidogénica reducida en sus células de la teca y granulosa, además de poca disponibilidad de estradiol circundante (Khodae *et al.*, 2011).

Diversos estudios indican las formas de cómo el EC deteriora el funcionamiento del sistema reproductivo de las vacas expuestas al mismo, donde la actividad del folículo dominante se suprime, la capacidad esteroidogénica de las células de la teca y granulosa se ve comprometida, se da una reducción en la secreción de progesterona por las células lúteas. Luego de transcurrida la ovulación, la producción de progesterona sintetizada en el cuerpo lúteo puede verse afectada, lo que desencadena una modificación en el microambiente del oviducto del útero, por lo que consecuentemente la supervivencia del embrión se ve comprometida (Wolfenson *et al.* 2000; Ptaszynska 2007; Góngora y Hernández 2010).

2.6 Efecto del estrés por calor sobre el desarrollo embrionario

Una vez que se da la fecundación el éxito de la de gestación estará determinado por la supervivencia del embrión y el feto. La exposición a EC genera ovocitos de mala calidad, los cuales se convertirán en embriones incapaces de comunicarse con las células epiteliales del endometrio, lo que finalmente genera la muerte embrionaria, ya sea temprana antes de los días 15 – 17 del ciclo o la muerte embrionaria tardía, que ocurre desde el mantenimiento de CL hasta el final de la etapa de diferenciación, aproximadamente a los 42 días de gestación (Santos *et al.* 2004).

Por otra parte, las condiciones de alta temperatura ambiental conllevan a un incremento sobre la temperatura uterina, lo que predispone a un aumento en la mortalidad embrionaria (Gutiérrez 2018). Según estudios realizados por Góngora y Hernández (2010), cuando la TR aumenta a un rango entre 38,5 y 40°C, durante las 72 horas posterior a la inseminación artificial, ocurre un descenso significativo sobre la tasa de preñez, además estos investigadores afirman que la mayor

cantidad de muertes embrionarias ocurren antes del día siete posterior a la ovulación, debido a la poca resistencia del embrión a estas altas temperaturas.

Cabe destacar que estudios en diferentes razas han demostrado una mayor resistencia embrionaria al EC en animales *Bos indicus*, si se comparan con los *Bos taurus*, esto sugiere que las adaptaciones genéticas aportadas por el ganado *Bos indicus*, da como resultado embriones menos propensos a ser inhibidos por la temperatura elevada (Biggers *et al.* 1987; Silva *et al.* 2013).

La mayor susceptibilidad por parte del embrión a las altas temperaturas se da en la etapa pre-implantación, ya que el desarrollo del cigoto y del embrión puede verse comprometido por la exposición a estas condiciones que desencadenan una serie de cambios celulares, moleculares y adaptativos que impiden el desarrollo normal del embrión (Sakatani *et al.*, 2004, 2012). Además, se ha demostrado la generación de radicales libres en respuesta al exceso de temperatura, principalmente en embriones de 0 a 2 días después de la inseminación y el daño oxidativo a las macromoléculas que afecta su desarrollo (Sakatani *et al.* 2004).

No obstante, cuando el embrión supera la etapa de las dos células, su resistencia a altas temperaturas es mayor, por tanto, en el desarrollo de cuatro a ocho células y etapas posteriores como la mórula, la exposición a altas temperaturas tiene poco efecto sobre el desarrollo del embrión (Sakatani *et al.* 2012; Sakatani *et al.* 2013).

2.7 Influencia de la temperatura rectal en la reproducción

A pesar de que el ITH sigue siendo el índice más sencillo y simple para medir el calor ambiental que genera disconfort térmico en bovinos, entre los principales eventos fisiológicos que desencadena el EC son aumento de la TR y frecuencia respiratoria ($r=0,85$ y $r=0,89$ respectivamente) (Ruiz *et al.* 2019).

En un estudio realizado por Viguera *et al.* (2019) afirma que el EC causa un aumento en la TR, que además de ser paralela a la temperatura del útero, se asocia a reducción en el consumo de materia seca, productividad y fertilidad (Ealy

et al. 1993; West 2003). Asimismo, estudios más recientes muestran temperaturas rectales de 41,2 y 39,5°C y frecuencia respiratoria de 132 y 88 por segundo, respectivamente para animales expuestos al calor del verano de California en condiciones sin sombra y con sombra, dejando en evidencia la respuesta en condiciones de EC (Leaño 2008).

Se ha demostrado que la temperatura rectal superior a 39,1°C genera una reducción en la tasa de concepción del 15% al 21% (West 2003). Dikmen y Hansen (2009) por su parte muestran resultados de hasta un 25% menos en la tasa de preñez por cada 1°C de aumento en la TR en animales *Bos taurus*.

Asimismo, es importante mencionar que existen otras condiciones que pueden desencadenar aumento en la TR de los animales, los cuales pueden ser generados por condiciones como manejo, temperamento, disponibilidad de agua u otros (Cooke *et al.* 2011). En cuanto al temperamento Vélez y Uribe (2010) han demostrado que ganado con temperamento excitable presentan altas concentraciones plasmáticas de cortisol y elevada TR lo cual ha generado impactos negativos sobre la preñez.

2.8 Otros factores que influyen sobre la reproducción

Además del efecto que se puede generar sobre la reproducción como consecuencia de condiciones climáticas, existen otros factores que influyen sobre el éxito reproductivo como la calidad seminal, la CC, suplementación mineral y ciclicidad ovárica.

El uso de semen congelado es una de las prácticas más comunes en el mejoramiento genético, debido al incremento de la productividad con el uso de machos de alta genética (Cabrera y Pantoja 2012). Sin embargo, la calidad seminal entre los diferentes toros puede verse afectada por múltiples causas como organismos infecciosos (virales y no virales) y no infecciosos como factores medio ambientales, raza, edad, nutrición, estrés, así como sistema de colecta, método de criopreservación, método de descongelamiento, entre otros (Lozano 2009).

La práctica de congelación/descongelación es útil para facilitar los procedimientos de IA en diferentes sitios, sin embargo, puede aumentar el daño de acrosoma hasta un 15% respecto a semen refrigerado disminuyendo así la capacidad de fecundar (Peña 2000; Rodríguez-Martínez, 2003; Cabrera y Pantoja 2012).

Un estudio realizado por Navarro y Chacón (inédito) demuestra el impacto de la calidad seminal sobre el porcentaje de preñez en ganado de carne bajo condiciones del trópico en protocolos de IATF. Los resultados de la calidad espermática demuestra que pajuelas con defectos no compensables (DNC) $\leq 15\%$ y > 10 millones de espermatozoides viables (EV) presentan un porcentaje de preñez significativamente mayor $58,8 \pm 12,9$ ($p < 0,0001$), respecto a pajuelas con valores $\leq 15\%$ DNC pero con < 10 millones de EV, y pajuelas con $> 15\%$ DNC y < 10 millones de EV, con porcentajes de preñez de $45,0 \pm 16,2$ y $37,8 \pm 11,0$, respectivamente.

Asimismo, existen una serie de factores a nivel nutricional que se deben considerar para comprender el mecanismo nutricional sobre la reproducción de la vaca, debido a que no son mediados por un solo nutriente, metabolito u hormona, sin embargo, la CC se ha utilizado como un método confiable para determinar el estado nutricional del animal (Esterman *et al.* 2016).

La CC de los animales juega un papel importante en la reproducción, debido a que permite determinar su influencia en el potencial reproductivo: secreción de GnRH, concentración plasmática progesterona, la función ovárica, la calidad del ovocito y embrión (Correa-Orozco y Uribe-Velásquez 2010).

En la escala de 1 – 9, la condición corporal óptima para favorecer el éxito en la reproducción es de 5 - 6, en este rango las hembras tienen más posibilidad de reiniciar la ciclicidad ovárica (Morales y Cavestany 2012); así como de obtener porcentajes de preñez alrededor de 11% mayor respecto a hembras en $CC < 5$ (Chayer, R y Pasqualini 2009; Esterman *et al.* 2016).

En cuanto a la ciclicidad de las hembras y los protocolos hormonales utilizados, en diversos estudios se ha utilizado el protocolo Ovsynch de sincronización para iniciar la actividad ovárica en hembras no cíclicas, sin embargo, existe una diferencia significativa entre el porcentaje de preñez entre las hembras cíclicas y no cíclicas (Komański y Rodríguez 2015). De esta manera, si bien el Ovsynch puede inducir la ovulación en vacas no cíclicas, la condición general del animal no está preparada para mantener una gestación, razón por la que la preñez se ve altamente reducida (Bó *et al.*, 2009).

Por otra parte, los minerales cumplen una función importante en el animal, siendo esenciales para llevar a cabo múltiples procesos fisiológicos, bioquímicos y metabólicos, que ayudan al organismo a combatir las enfermedades, manteniendo al animal en buen estado de salud. A nivel reproductivo favorece la reparación y revestimiento del útero después del parto, acelerando el retorno a la función reproductiva y el estro, además, juegan un papel importante en la función del sistema inmune el cual se relaciona con la salud general del animal (Kumar 2015).

Cuando no hay suplementación mineral, las principales limitaciones se dan en el periodo seco, esto debido a la presencia de forrajes maduros y de baja calidad, llevando a alteraciones funcionales que conducen a los periodos de baja fertilidad, por lo que la suplementación en este periodo se vuelve necesaria (Garmendia 2007).

La suplementación mineral viene a reemplazar un nutriente que no está siendo obtenido de otras fuentes, por lo que debe utilizar fórmulas de fácil absorción, para ello se han desarrollado fórmulas quelatadas que logra añadir moléculas orgánicas (aminoácidos) con pesos moleculares suficientemente pequeñas como para pasar fácilmente a través de la pared intestinal (Santos *et al.* 2018). Al ser el agente quelante un aminoácido, le permite al complejo estabilidad durante el proceso de absorción y una vez en el torrente sanguíneo son fácilmente metabolizados liberando el mineral (Garmendia 2007).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

La presente investigación se llevó a cabo en siete sistemas de producción de bovinos de carne distribuidos a nivel nacional en cuatro regiones ganaderas: Caribe, Pacífico Central, Pacífico Norte y Pacífico Sur (**Anexo 1**).

La región Caribe, se encuentra ubicada al noreste del país, presenta un clima tropical húmedo con precipitación anual cercana a 3230 mm, y temperaturas que van desde los 21,2°C hasta 30,4°C; a nivel edáfico presenta suelos jóvenes de tipo inceptisoles y andisoles; la región Pacífico Central por su parte, está ubicada en la porción central de la vertiente del Pacífico, presenta un clima tropical con estación seca corta y moderada, y un periodo lluvioso severo 3500 mm anual, con temperaturas entre 22,7 – 31 °C, en esta región sobresalen los suelos de tipo volcánico y suelos aluviales susceptibles a inundación de relieve ondulado a muy ondulado (IMN 2008).

La región Pacífico Sur se ubica al sureste del país, se caracteriza por conservar un rico componente hidrográfico, precipitación anual 3700 mm anuales y una temperatura entre 20,5 – 27,9°C, presenta bosque de tipo tropical a tropical lluvioso y en cuanto al factor suelo presenta suelos rojizos profundos, arcillosos y fuertemente ácidos, además suelos ultisoles ricos en materiales orgánicos asociados a influencia volcánica. Por último, la región Pacífico Norte, se localiza al noreste del país, es una de las regiones más cálidas y secas con presencia de periodos secos que se extienden de cinco a seis meses, presenta un clima tropical seco, con temperatura entre 22 - 33°C, y una precipitación de 1500 – 2500 mm anual, esta región es en su mayoría plana con predominancia de suelos inceptisoles, alfisoles y entisoles (IMN 2008).

En el **Cuadro 1** se presenta información referente a la clasificación de las fincas por zona, además de identificación por nombre de la finca y ubicación política y geográfica.

Cuadro 1. Ubicación política y geográfica de los sistemas de producción según región y finca, Costa Rica, 2019.

Región	Lugar			Finca	Coordenadas	
	Provincia	Cantón	Distrito		Norte	Oeste
Caribe	Limón	Guácimo	Jiménez	Fonza San Jorge	10°13'27"	83°43'41"
Pacífico Central	Puntarenas	Garabito	Jaco	Las Tres Marías	9°34'70"	84°32'27"
Pacífico Central	Puntarenas	Parrita	Parrita	San Julián	9°34'0.02"	84°28'0.1"
Pacífico Norte	Alajuela	San Mateo	Desamparados	Dr. Rene Salazar	9°56'57"	84°30'20"
Pacífico Norte	Puntarenas	Central	Lepanto	Inmobiliaria Las Milpas BR SA	9°56'24"	85°9'17"
Pacífico Norte	Puntarenas	Garabito	Tárcoles	Nosavar	9°47'53"	84°37'4"
Pacífico Sur	Puntarenas	Buenos Aires	Changuena	Guaimy Paraíso	8°57'01"	83°13'24"

3.2 Periodo de estudio

El periodo que comprendió el desarrollo del estudio fue entre los meses de marzo y julio del año 2019, la distribución de la ejecución del proyecto estuvo dada en función del tiempo de empadre de cada finca (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Número de animales por composición racial (cruces *Bos taurus* x *Bos indicus* y *Bos indicus*) según sistema de producción y su respectivo periodo de tiempo de la investigación, Costa Rica, 2019.

Región	Nombre de la finca	(n) Cruces	(n) <i>Bos Indicus</i>	Mes de visita
Caribe	Fonza San Jorge	0	16	Mayo
Pacífico Central	Las Tres Marías	1	15	Mayo
Pacífico Central	San Julián	1	46	Junio
Pacífico Norte	Dr. Rene Salazar	1	13	Mayo
Pacífico Norte	Nosavar	19	0	Mayo
Pacífico Norte	Inmobiliaria Las Milpas BR SA	0	39	Marzo
Pacífico Sur	Guaimy Paraíso	0	8	Abril

3.3 Tamaño de la muestra

Fueron incluidas en el presente trabajo un total de 159 hembras cruzadas (*Bos taurus* x *Bos indicus*) y *Bos indicus* distribuidas en las siete fincas en diferentes regiones del país, el número de animales varió en cada finca de acuerdo con la cantidad de hembras disponibles según los parámetros establecidos para la investigación (**Cuadro 2**).

3.4 Material experimental

Las hembras incluidas en el estudio fueron evaluadas física y reproductivamente, físicamente se consideró la condición corporal (CC) en una escala de uno a nueve (1-9), los animales incluidos en este estudio se encontraban entre cinco y seis en la escala de CC, no presentaban problemas de renqueras, lesiones externas visibles, problemas de ubre, así como tener acceso a una suplementación *ad libitum* de minerales aminoquelatados con al menos seis meses previos al inicio del proyecto. Respecto a la condición reproductiva se incluyeron hembras con presencia de ciclicidad ovárica (presencia de cuerpo lúteo) y sin anomalías presentes en cervix u ovarios.

Por otra parte, para la inseminación de los animales se utilizó semen congelado proveniente de toros *Bos taurus* evaluados por el Laboratorio de Andrología de la Universidad Nacional de Costa Rica, los parámetros de selección fueron, concentración espermática >10 millones de espermatozoides viables por pajuela, y con un máximo de 15% de morfoanomalías no compensables (**Anexo 2**).

Los valores obtenidos del índice temperatura-humedad (ITH) por su parte, se clasificaron en categorías entre sí por cada 2,5 unidades en la escala de ITH, iniciando con la categoría 0 con valores de ITH entre 72,5 y 75, seguidamente la categoría 1 con valores entre 75 y 77,5, la categoría 2 con valores entre 77,5 y 80 y la categoría 3 entre 80 y 82,5.

3.5 Procedimiento

3.5.1 Protocolo de sincronización

El manejo del protocolo hormonal comprendió un proceso de nueve días, en el día cero (D0), se realizó la aplicación de un implante intravaginal de 0,5 g de progesterona (DIB Sintex, Argentina) + 2 ml de Benzoato de estradiol (BE) (Gonadiol concentración 1mg/ml, Zoetis, Argentina). Al día siete (D7) se retiró el implante intravaginal y se aplicó 2 ml de cloprostenol (Ciclase concentración de 250 ug/ml, Syntex, Argentina) + 300 UI de eCG (Novormom, Syntex, Argentina) + 1 ml de cipionato de estradiol (CE) (Cipiosyn concentración de 0,5 mg/ml, Syntex, Argentina) vía intramuscular. Finalmente, al día nueve (D9) se completó el protocolo

de sincronización en donde a las 52 y 56 horas post retiro del implante intravaginal se realizó la IATF (**Figura 1**).

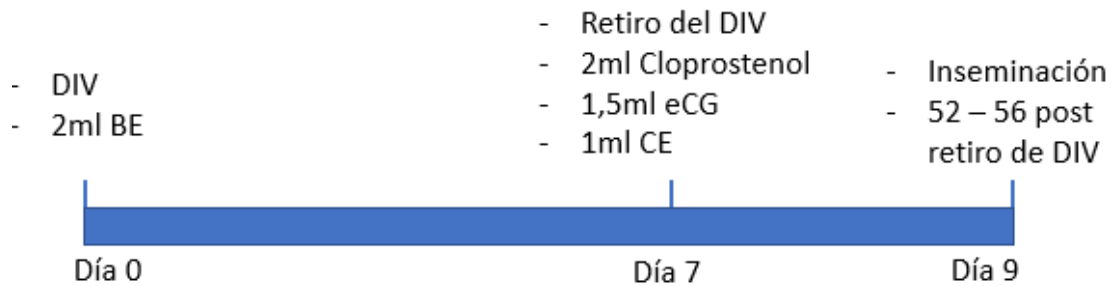


Figura 1. Cronograma de aplicación en protocolo de IATF utilizado en el desarrollo de la investigación, Costa Rica, 2020

3.5.2 Determinación de la Temperatura Rectal (TR)

Los valores de TR de cada hembra se obtuvieron por medio de la utilización de un termómetro clínico veterinario posicionado en la pared del recto de cada animal inmediatamente antes de realizar la IATF, posterior a 60 segundos en contacto con el animal se procedió a obtener la lectura correspondiente.

3.5.3 Inseminación artificial a tiempo fijo (IATF)

El proceso de la inseminación se realizó entre las 52 y 56 horas post-retiro del implante intravaginal dentro del protocolo hormonal. Este proceso de la inseminación artificial incluye el descongelamiento de la pajilla de semen, el cual consistió en colocar en un recipiente agua a una temperatura entre 35 – 37°C, posteriormente retirar la pajilla del tanque criogénico e inmediatamente después se sumerge la pajilla en el agua durante 30 segundos, la pajilla al salir del recipiente es cubierta con una servilleta para evitar el daño por la luz, se procede a cortar el extremo que permite la salida del semen dentro de la hembra, se coloca la pajilla en la pistola de inseminación, seguidamente esta es cubierta por la funda plástica protectora de contaminación y la camisa sanitaria, por último el veterinario encargado del proyecto de la investigación DMV Leonel Navarro Rojas procedió a realizar la inseminación.

El proceso de la inseminación en sí, se realiza manipulando vía transrectal el cérvix de la hembra, e introduciendo con la otra mano, la pistola de inseminación vía vaginal por medio de la manipulación manual el extremo de la pistola de inseminación llega hasta la entrada del cérvix, posteriormente se posiciona la pistola en la entrada del cérvix, se rompe la camisa sanitaria y se da inicio a la manipulación del cérvix para ser atravesado por la pistola, una vez ubicado el extremo de la pistola en el cuerpo del útero se realiza la deposición del semen y finalmente se retira la pistola.

3.6 Variables de respuesta

3.6.1 Índice de temperatura-humedad (ITH)

Se obtuvieron datos climáticos recolectados por diferentes estaciones meteorológicas cercanas a cada finca en estudio, pertenecientes al Instituto Meteorológico Nacional. El historial de registro se obtuvo en formato diario, incluyendo los parámetros de humedad relativa, temperatura máxima y mínima, para los días; D4 posterior a la sincronización, el día de la IATF, el D9 posterior a la IATF y por último el día 16 posterior a la IATF.

Posteriormente, a partir de los valores obtenidos se procedió al cálculo del Índice de temperatura humedad (ITH), donde T corresponde a la temperatura ambiental (°C) y HR al porcentaje de humedad relativa, para lo cual se utilizó la fórmula:

$$ITH: 1.8 T + 32 - (0.55 - 0.55 HR/100) * (1.8 T - 26).$$

Los valores obtenidos de ITH obtenidos se clasificaron en categorías separadas entre sí por cada 2,5 puntos en la escala de ITH, iniciando con la categoría 0 en el valor más bajo obtenido, por lo tanto, se determinaron valores de ITH entre 72,5 y 75 para la categoría 0, seguidamente la categoría 1 con valores entre 75 y 77,5, la categoría 2 con valores entre 77,5 y 80 y la categoría 3 entre 80 y 82,5.

3.6.2 Temperatura rectal

En diferentes estudios realizados en ganado *Bos taurus* y animales cruzados cruces (*Bos taurus* x *Bos indicus*) (West 2003, Dikmen; Hansen 2009), se ha reportado que valor 39,1°C como un indicador crítico de cambio de TR sobre el porcentaje de preñez. Debido a lo anterior, los valores de TR obtenidos por cada animal fueron clasificados en dos categorías $<39,1^{\circ}= 0$ y $\geq 39,1=1$ con el fin de evaluar el efecto en el ganado *Bos indicus* y cruces (*Bos taurus* x *Bos indicus*) en el trópico.

3.6.3 Diagnóstico de preñez

El diagnóstico de preñez fue determinado por medio de la palpación rectal realizada por el DMV Leonel Navarro Rojas 40 días después de realizada la IATF.

3.6.4 Porcentaje de preñez

La tasa de preñez para animales cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus* y *Bos indicus* se obtuvo a partir del diagnóstico de gestación realizado por DMV Leonel Navarro Rojas, para ello se utilizó para cada categoría la siguiente fórmula:

$$\% \text{ preñez} = (\text{vacas preñadas}) / (\text{vacas IATF}) * 100$$

3.7 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de correlación lineal (Coeficiente de Spearman) entre el ITH del día de la IATF y la TR. Además, se ejecutó una prueba de bondad de ajuste (Chi Cuadrado, X^2) mediante tablas de contingencia para describir la frecuencia entre el porcentaje de preñez según clasificación por finca, región, ITH y TR.

Los análisis se realizaron por medio del *software* estadístico InfoStat/P (Di Rienzo *et al.* 2017), usando un nivel de significancia de 0,05.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización general de las fincas y regiones

La caracterización general de los sistemas productivos y la región en el territorio nacional donde se encuentran estos se presentan en el **Cuadro 3**, clasificados según grupo racial, valores de temperatura rectal (TR) promedio y porcentaje de preñez. Respecto al número de animales según su grupo racial por finca, se debe considerar el alto grado de variabilidad existente en los datos observados.

Cuadro 3. Comportamiento general de los resultados obtenidos por finca y región de las diferentes variables estudiadas, Costa Rica, 2020.

Región	Nombre de la finca	(n) Cruces	(n) <i>Bos Indicus</i>	Temperatura Rectal (°C)	Preñez (%)
Caribe	Fonza San Jorge	0	16	39,96 ± 1,00	56% ± 0,51 A
Pacífico Norte	Inmobiliaria Las Milpas BR SA	0	39	39,38 ± 0,43	59% ± 0,50 A
Pacífico Central	Las Tres Marías	1	15	39,16 ± 0,63	63% ± 0,50 A
Pacífico Central	San Julián	1	46	39,52 ± 0,68	68% ± 0,47 A
Pacífico Norte	Dr. Rene Salazar	1	13	39,39 ± 0,71	71% ± 0,47 A
Pacífico Norte	Nosavar	19	0	38,83 ± 0,16	79% ± 0,42 A
Pacífico Sur	Guaimy Paraíso	0	8	38,75 ± 0,25	88% ± 0,38 A

De acuerdo con los resultados obtenidos no existe asociación significativa entre la preñez obtenida en las diferentes fincas ($X^2=4,98$; $p=0,5461$), a pesar de que, la diferencia observable entre la finca Guaimy Paraíso con un porcentaje de preñez de $88\% \pm 0,38$ y la finca Forza San Jorge con un valor $56\% \pm 0,50$ en el anterior parámetro, parece ser evidente, el tamaño de la muestra existente en ambas fincas no es suficientemente grande para que el proceso estadístico sea capaz de encontrar diferencias entre las fincas.

Para el desarrollo del estudio se consideraron hembras con características establecidas para homogenizar las condiciones de las hembras utilizadas, sin embargo, los efectos propios de la zona pueden influir en el resultado, esto principalmente porque regiones o periodos muy cálidos tienden a generar porcentajes de preñez reducidos (Leaño 2008).

Las regiones en las que se desarrolló el estudio presentan características variadas entre sí, pero comparten la propiedad de tener temperaturas elevadas,

En la **Figura 2** muestran los porcentajes de preñez obtenidos en las diferentes regiones, se puede observar que la Región Pacífico presentó gráficamente los mejores porcentajes de preñez, sin embargo, no existe diferencia estadística entre la preñez obtenida en las regiones ($X^2=2,34$; $p=0,5042$).

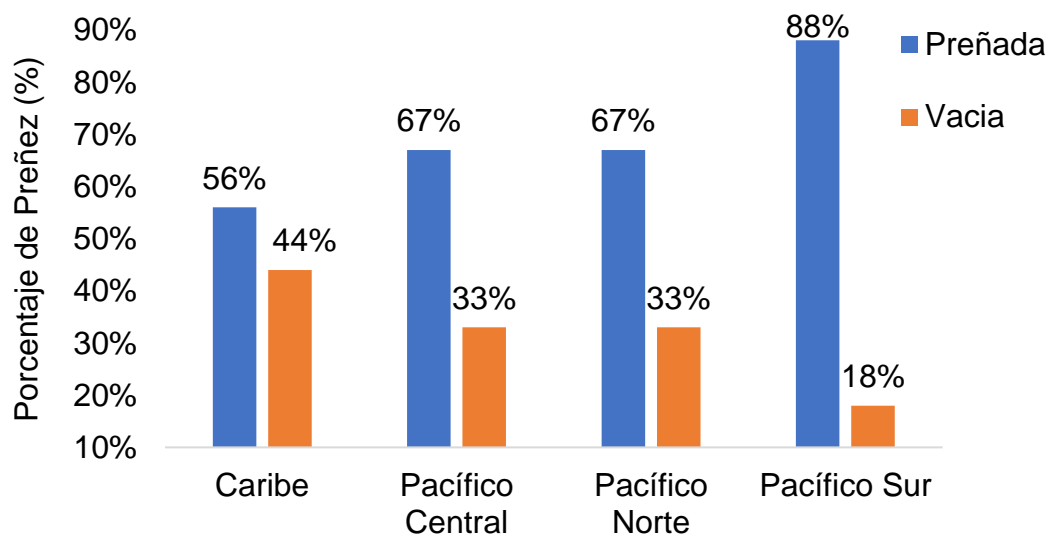


Figura 2. Porcentaje de preñez de las hembras inseminadas a tiempo fijo por región, Costa Rica, 2019

De acuerdo con la figura anterior, cabe destacar que las regiones Pacífico Central y Pacífico Norte contienen el 85% de la población y por tal razón, el programa no es capaz de encontrar diferencias. Sin embargo, el porcentaje de preñez obtenido en la región Caribe pudo estar influenciado por condiciones características climáticas de elevada temperatura ambiental, periodos lluviosos extensos y elevados (IMN 2008).

En comparación con estudios realizados por Chacón (2000), Chacón (2009) y Yáñez *et al.* (2018), el porcentaje de preñez por medio de la IA bajo condiciones tropicales es inferior a 50%, mientras que la preñez obtenida en el presente estudio es de 67%, lo anterior explica que bajo las consideraciones en las que se desarrolló el estudio, los parámetros considerados favorecieron obtener porcentaje de preñez superior al promedio nacional, con inclusive más efecto que el generado por las condiciones propias de la región.

4.2 Impacto del ITH sobre la preñez

Respecto a los resultados de preñez obtenidos según la categoría de ITH en la **Figura 3** se muestra que, el mayor porcentaje de preñez estimado, se obtuvo cuando las hembras estuvieron expuestas a la categoría 3 el D4 posterior a la sincronización, sin embargo, no se encontró una asociación significativa ($X^2=1,49$; $p=0,6837$), lo cual expone que los valores entre Categoría 0 – 3 no influyen sobre el desarrollo de los ovocitos en las hembras, por lo que el porcentaje de preñez obtenido en las hembras no está asociado a la categoría de ITH presente el D4 posterior a la sincronización.

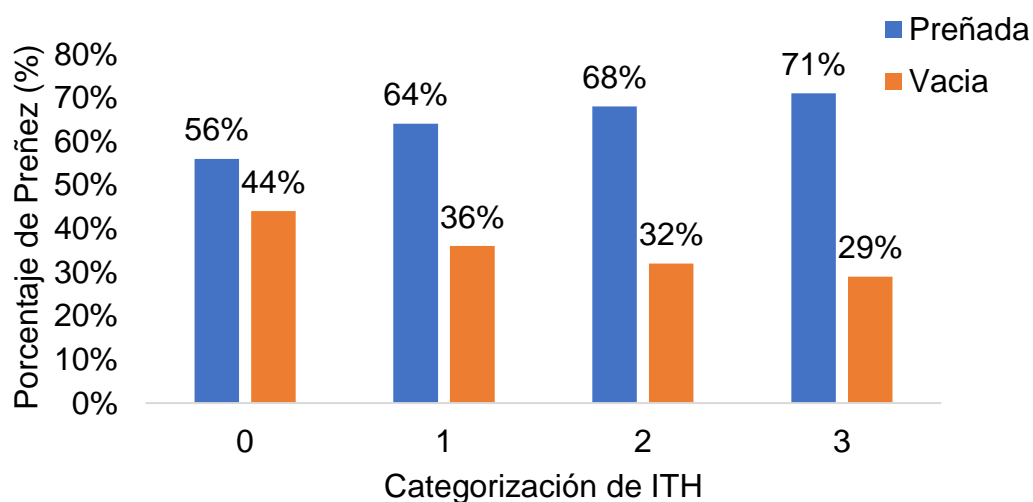


Figura 3. Porcentaje de preñez de las hembras inseminadas a tiempo fijo según la categoría de ITH presente en la finca cuatro días post sincronización,

Costa Rica, 2019. Categoría 0 (72,5 – 75), categoría 1 (75 - 77,5), categoría 2 (77,5 - 80) y categoría 3 (80 – 82,5).

En esta variable es importante considerar que el número de muestras para la categoría 0 es de aproximadamente un tercio respecto a cada una de las otras categorías, por lo que el programa estadístico empleado no es capaz de encontrar independencia entre los porcentajes de preñez obtenidos en las diferentes categorías de ITH.

Según Khodae *et al.* (2011) cuando los animales experimentan estrés por calor (EC) se reduce el dominio del folículo seleccionado, lo cual puede deberse a una capacidad esteroidogénica reducida en sus células de la teca y granulosa, así como disminución en la concentración de estradiol en sangre, estos cambios endocrinos disminuyen la actividad folicular y alteran el mecanismo ovulatorio, lo que conlleva a baja calidad de ovocitos.

Los valores de ITH que generan EC sobre los animales son difícil de establecer debido a que dependen de diversos factores, sin embargo, en un estudio realizado por Ruiz *et al.* (2019) y valores de ITH ≥ 67 reducen el tamaño del folículo, afectando su calidad (Schüller *et al.* 2017).

Por otra parte, en vacas Gyr (*Bos indicus*) Torres-Júnior *et al.* (2008) observaron que la exposición a ITH >85 no tuvo un efecto inmediato sobre la función reproductiva, pero ejerció un efecto nocivo retrasando el crecimiento folicular ovárico, afectando las concentraciones hormonales y la competencia de los ovocitos, y en ganado Brahman bajo las mismas condiciones se reportó una disminución significativa del desarrollo de embriones (Hernández-Cerón *et al.* 2004).

De acuerdo con los estudios anteriores los efectos iniciales de EC sobre crecimiento folicular y desarrollo del embrión son de ITH >85 e ITH >73 para animales *Bos indicus* y *Bos taurus* respectivamente. Por lo tanto, se puede decir que los valores de ITH a los que las hembras estuvieron expuestas en este estudio no alcanzaron valores de ITH reportados estresantes para ganado *Bos*

indicus. Por lo tanto, los valores presentes no tuvieron efecto sobre la preñez generada entre los animales *Bos indicus* y cruces utilizados en el estudio ($X^2=0,42$; $p=0,5259$). Es decir, los animales utilizados contaban características genéticas aportadas por el *Bos indicus* que le permiten adaptarse a condiciones de ITH entre 72 y 82 el D4 PS sin afectar el comportamiento reproductivo.

El porcentaje de preñez obtenido el día de la IATF y el D9 posterior a la IATF se presentan en la **Figura 4** y **Figura 5**, se puede observar que las hembras expuestas a Categoría 2 en ambos días presentan mejor porcentaje de preñez respecto a las expuestas a Categoría 1. Sin embargo, se obtuvo que no existe diferencias entre las Categorías 1 y 2, ($X^2=1,42$; $p=0,3020$), ($X^2=0,62$; $p=0,4322$), respectivamente.

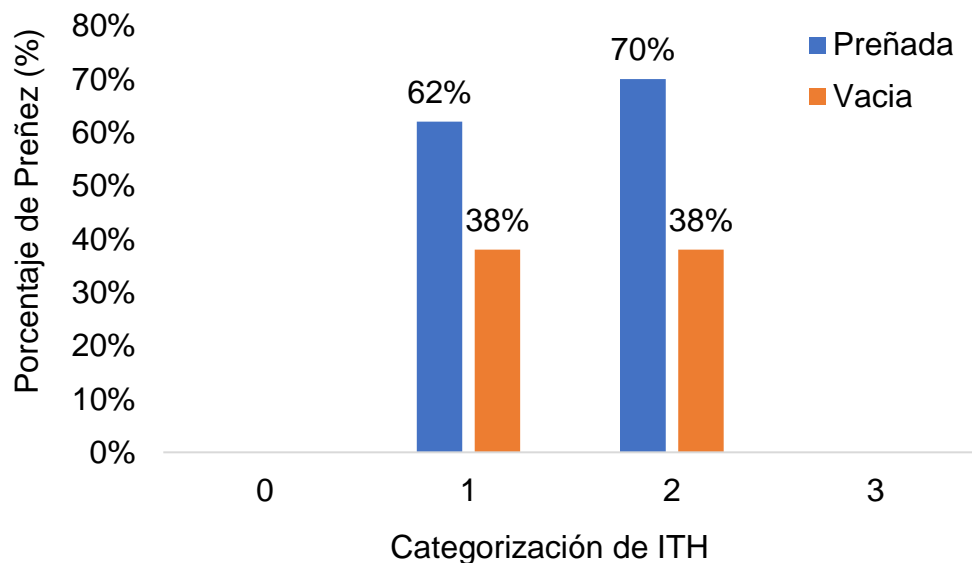


Figura 4. Porcentaje de preñez de las hembras inseminadas a tiempo fijo según la categoría de ITH presente en la finca el día de la inseminación artificial a tiempo fijo, Costa Rica, 2019. Categoría 0 (72,5 - 75), categoría 1 (75 - 77,5), categoría 2 (77,5 - 80) y categoría 3 (80 - 82,5).

El día de la IATF, las condiciones de ITH presentes juegan un papel importante en la reproducción, principalmente porque reduce significativamente la intensidad de los signos del estro y los efectos fisiológicos que desencadenan tal comportamiento influye sobre la función reproductiva (Schüller *et al.* 2017).

Según Schüller *et al.* (2017) un aumento del ITH de 52 a 70 el día de la IA en ganado *Bos taurus* redujo en la tasa de concepción de 37,75 a 23,65%, además de una probabilidad de concentración sérica <1ng/ml de progesterona. Mientras que para cruces y *Bos indicus*, valores de ITH entre 75 – 80 no generan impacto sobre la preñez Hansen (2004).

Asimismo, Santana *et al.* (2018) reportaron que ITH>84 generan reducción leve en la preñez, destacando que la probabilidad de que una novilla conciba en ITH=88 se espera que sea 4,67% menor que la de una expuesta a un ITH promedio de 82,5 durante la temporada de reproducción. Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Hansen (2004), donde ITH<74 no genera impacto sobre el porcentaje de preñez obtenido por cruces y *Bos indicus*.

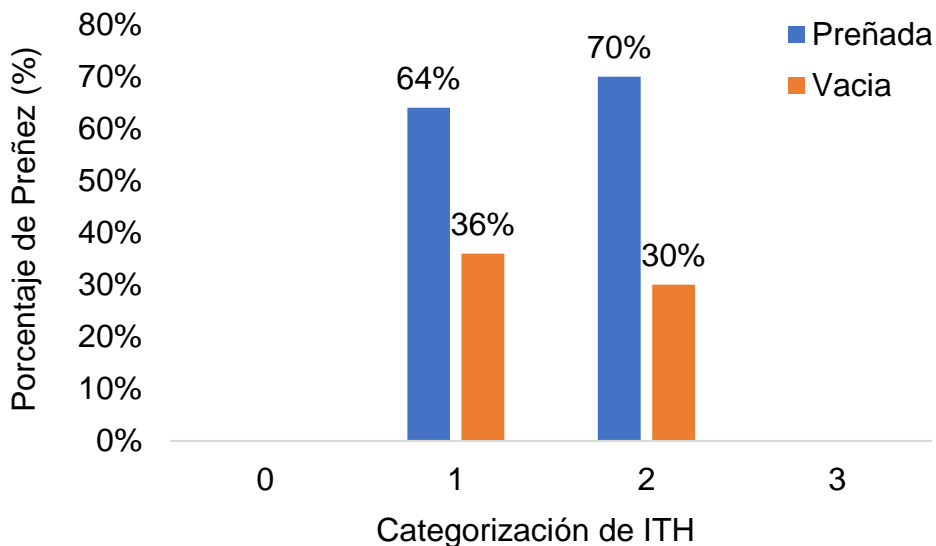


Figura 5. Porcentaje de preñez de las hembras inseminadas a tiempo fijo según la categoría de ITH presente en la finca el D9 posterior a la IATF, Costa Rica, 2019. Categoría 0 (72,5 - 75), categoría 1 (75 - 77,5), categoría 2 (77,5 - 80) y categoría 3 (80 - 82,5).

Cabe destacar que la principal razón por la cual se registra mayor porcentaje preñez en las Categorías 1 y 2 se debe a que aproximadamente el 60% de la

población estudiada se encontró en la Región Pacífico Central y Pacífico Norte, las cuales presentaron valores de ITH más elevados.

En comparación con los reportes anteriores Hansen (2004), Schüller *et al.* (2017) y Santana *et al.* (2018), para cruces y *Bos indicus*, se puede observar que los valores donde se reporta el inicio de afectación de la preñez para cruces y ganado *Bos indicus*, no comprende ninguna de las Categorías de ITH a las que estuvieron expuestas y por tal motivo se asume que el porcentaje de preñez obtenido en las fincas y regiones no fue significativo, sin embargo es importante considerar que el factor genético cumple un rol importante en la adaptación de los animales a las condiciones del trópico.

Lo anterior justificado a que, una vez dada la fecundación, el desarrollo del cigoto puede verse afectado por influencia del EC, a nivel celular, las adaptaciones genéticas aportadas por el ganado *Bos indicus*, da como resultado a embriones menos propensos a ser inhibidos por la temperatura elevada (Silva *et al.* 2013).

Seguidamente en se muestra el porcentaje de preñez obtenido de acuerdo a la categoría de ITH al que estuvieron expuestas el D16 posterior a la IATF, se puede observar que el mayor porcentaje de preñez se obtiene cuando las hembras se encuentran en Categoría 0, sin embargo, no existe diferencia entre las Categorías, la cual se debe a que a pesar de que el porcentaje de preñez fue alto, esa Categoría solo representa el 5% de la población por lo que no es una muestra suficiente para determinar diferencias.

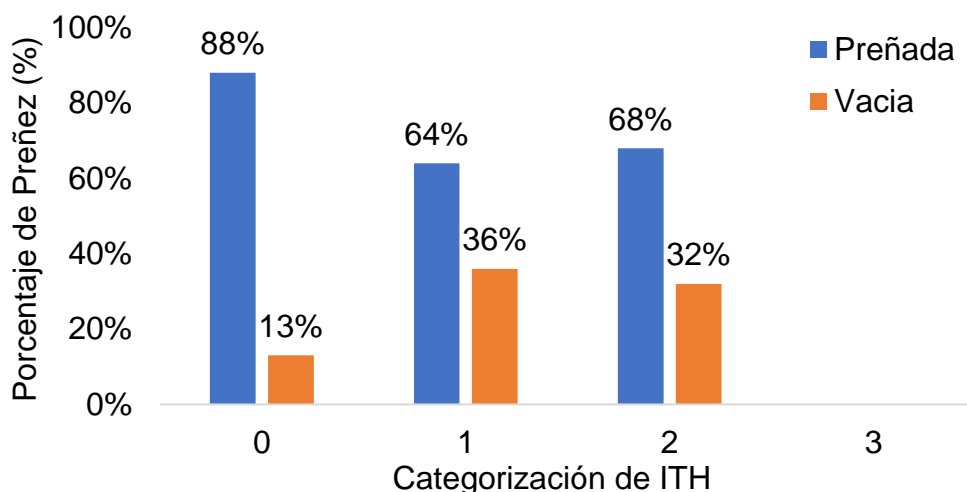


Figura 6. Porcentaje de preñez de las hembras inseminadas a tiempo fijo según la categoría de ITH presente en la finca 16 días post inseminación, Costa Rica, 2019. Categoría 0 (72,5 - 75), categoría 1 (75 - 77,5), categoría 2 (77,5 - 80) y categoría 3 (80 - 82,5).

En la ganadería bovina el EC es un tema de interés debido al impacto generado sobre la producción y consecuentemente la economía del sistema, sin embargo, su efecto ha sido más estudiado en animales *Bos taurus*, quienes tienen menor capacidad de adaptación, es por esto que los animales *Bos indicus* se consideran un reservorio importante de genes que confieren tolerancia al calor, además de prevención sobre efectos nocivos en el rendimiento reproductivo (Schüller *et al.* 2017; Santana *et al.* 2018; Aguiar *et al.* 2020).

Por lo tanto, se infiere que los porcentajes de preñez obtenidos por los animales del presente estudio no tuvieron impactos negativos como consecuencia de EC debido a que las hembras estudiadas no se expusieron a condiciones de ITH > 85, los cuales han sido reportados como valores en donde inicia la afectación de la preñez en animales *Bos indicus*, esto principalmente por característica genéticas y mayor capacidad de termo regular.

4.3 Relación entre la TR y el ITH

Entre los eventos fisiológicos desencadenados por el EC se mencionan el aumento de la TR, la frecuencia respiratoria y el jadeo, los cuales se manifiestan para lograr mantener estable la temperatura corporal, sin embargo, cuando estos

mecanismos no son suficientes, el EC en las hembras provoca aumento en la temperatura uterina, que a su vez incrementa la mortalidad embrionaria (ME) (Ptaszynska 2007; Pragna *et al.* 2017).

No obstante, la activación de estos mecanismos de termorregulación puede variar de acuerdo con la raza (Silva *et al.* 2013). Un estudio realizado con ganado *Bos taurus*, cruces y *Bos indicus* obtuvieron un aumento de la TR conforme aumentaba el ITH, obteniendo que los cruces al 75% *Bos taurus* y 100% *Bos taurus* tuvieron un aumento significativo en la frecuencia respiratoria, pero no en la TR, aunque sí tuvieron un aumento marcado a partir de ITH>90, mientras que *Bos indicus* por su parte, presentó un aumento significativo en la tasa de sudoración con ITH>72 (Wang *et al.* 2015).

De acuerdo con Wang *et al.* (2015) y Pragna *et al.* 2017), las razas *Bos indicus* o cruces responden al EC por medio de la sudoración, esto debido a que poseen genes que le confieren termo tolerancia a nivel fisiológico y celular, además de células sudoríparas de gran tamaño y características del pelaje que favorecen la pérdida de calor, mientras que las *Bos taurus* emplean respiración para disipar el exceso de calor corporal como primer recurso y posteriormente se da el aumento de TR.

El análisis estadístico realizado para medir el comportamiento de la TR respecto a los valores de ITH el día de la IA, indicó que existe una correlación lineal nula entre la TR y el ITH $p=0,9058$ (**Anexo 3**)

Por lo tanto, se concluye que, la disminución en la preñez como consecuencia del EC se da cuando el animal no es capaz de controlar su temperatura corporal e inicia un incremento de esta, que desencadena procesos fisiológicos que alteran la liberación de hormonas, además de condiciones inadecuadas para el desarrollo del embrión. En el presente estudio, no se puede comprobar el signo de sudoración como indicador de EC, sin embargo, se puede comprobar, que los valores de ITH no fueron suficientemente altos para generar un desbalance en la termorregulación del animal para generar un aumento en la TR.

4.4 Temperatura Rectal sobre la preñez

La TR juega un papel importante en la reproducción debido a que es un indicador confiable sobre el equilibrio térmico en el animal, el cual puede ser alterado por condiciones ambientales estresantes (Wang *et al.* 2015), manejo (Lees *et al.* 2020), temperamento propio del animal Vélez y Uribe (2010), poco acostumbramiento al manejo o corral, entre otros (Cooke *et al.* 2011). Un incremento en la TR superior a 39,5°C trae como consecuencia reducción significativa en la preñez (Leaño 2008; Góngora y Hernández 2010).

En el **Cuadro 4** se observan las frecuencias obtenidas tras evaluar el efecto de la Categoría de TR sobre el porcentaje de preñez, donde se puede observar que el mejor porcentaje de preñez se obtuvo cuando las hembras presentaron TR <39,1°C. Los resultados obtenidos demuestran que las hembras con TR <39,1°C tienen 3,3 veces más chance de quedar preñadas que las hembras con TR ≥39,1°C.

Cuadro 4. Frecuencias observadas de vacas preñadas o vacías con TR <39,1°C o ≥ 39,1°C en las diferentes fincas, Costa Rica, 2019

Categoría TR	Vacia	Preñada	Total
< 39,1°C	0,18 (10)	0,82 (46)	1,00 (56)
≥ 39,1°C	0,42 (43)	0,58 (60)	1,00 (103)
Total	0,33 (56)	0,67 (103)	1,00 (159)

$\chi^2 = 9,32; p = 0,0023$

Un aumento en la TR de los animales es signo de una alteración en el funcionamiento normal de la hembra, el cual puede aumentar por diversos motivos que generan como consecuencia desbalances en la producción y disminución significativa de la preñez (Leaño 2008; Góngora y Hernández 2010).

Estudios previos han logrado determinar que la TR superior 39,1°C genera afectación sobre la reproducción, generando una disminución en la preñez entre

un 15 y 25% (Dikmen y Hansen 2009; Lozano *et al.* 2010). En el presente estudio, la reducción en el porcentaje de preñez fue de aproximadamente el 15% cuando las vacas se encontraban con TR superior a 39,1°C, respecto a las que presentaron TR<39°C, lo cual coincide con los estudios mencionados previamente.

Por otra parte, un temperamento excitable, es una característica importante que predispone a los animales a aumentar la TR al momento del manejo (Vélez y Uribe 2010). Según Cooke *et al.* (2009a) y Cooke *et al.* (2009b) el temperamento excitable puede perjudicar indirectamente la reproducción, debido a que la respuesta al estrés aumenta los niveles de cortisol y como consecuencia interrumpe los mecanismos fisiológicos asociados al éxito de la preñez.

A pesar de que las causas del aumento de la TR no fueron evaluadas en el presente estudio, las condiciones de manejo como movilización al corral, manejo del animal en corral, el temperamento propio del animal y acostumbramiento del ganado a la manipulación son factores de estrés que pueden generar un aumento en la TR y como consecuencia disminuir la fertilidad.

4.5 Otros factores asociados a fertilidad

Debido a que no hubo diferencia significativa entre el porcentaje de preñez obtenido en los diferentes tiempos de medición del ITH, deja en evidencia que existen otros factores de mayor importancia sobre el porcentaje de preñez como la calidad espermática y manejo del semen, CC, ciclicidad ovárica, nutrición entre otros, los cuales no son considerados en la mayoría de los trabajos realizados en el país.

La calidad seminal de los toros se puede ver afectada por distintas razones tanto de origen infeccioso como no infeccioso, sin embargo, se debe considerar que los problemas en los espermatozoides se pueden dar antes de la colecta como consecuencia propia del animal o ambiente, o después de la colecta, donde se incluyen los problemas asociados a la crío preservación (Lozano 2009).

Un estudio realizado por Navarro y Chacón (inédito) demuestra la importancia de la calidad seminal sobre el porcentaje de preñez en animales de cría de ganado de

carne bajo condiciones del trópico sobre protocolos de IATF, donde reportaron disminución significativa 59% a 38% cuando utilizaron semen con parámetros de calidad como $\leq 15\%$ de defectos no compensables (DNC) y > 10 millones de espermatozoides viables, respecto a pajuelas con valores $\leq 15\%$ DNT y < 10 millones de EV.

La CC por su parte, también juega un papel importante en la reproducción, que a pesar de ser una estimación visual refleja las reservas de energía disponibles en la hembra, y a su vez permite determinar el potencial reproductivo del animal (Correa-Orozco y Uribe-Velásquez 2010).

Según Giraldo y Uribe 2012, Morales y Cavestany (2012) y Esterman *et al.* (2016) existe una alta correlación entre la CC y la reproducción, debido a que aquellas hembras con mejor condición (5-6) cuentan con mayor posibilidad de reiniciar la actividad ovárica y llevar a cabo los procesos de gestación.

Es decir, las vacas con condición corporal inferior a cinco presentan la mayor movilización de la reserva de grasa corporal localizada en el tejido subcutáneo, intra e intermuscular, mientras que superior a 6 pueden presentar problemas metabólicos y captura de hormonas (López 2006).

Diversos estudios han utilizado el protocolo Ovsynch de sincronización en hembras no cíclicas para iniciar la actividad ovárica, sin embargo, los resultados de preñez no han sido exitosos en comparación con hembras cíclicas (Komański y Rodríguez 2015). De esta manera, si bien el Ovsynch puede inducir la ovulación en vacas no cíclicas, la reducción en las tasas de concepción sigue siendo problemática, debido a que la gran mayoría de las hembras no cíclicas presentan CC baja, es decir no cuenta con suficientes reservas para iniciar la actividad ovárica (Bó *et al.*, 2009).

Por último, los requerimientos de minerales en los animales dependen factores como la edad, especie y condiciones fisiológicas, los requerimientos básicos de crecimiento y producción son esenciales, sin embargo, debe considerarse las interacciones de los minerales, la toxicidad y la biodisponibilidad de este, de tal

manera que facilite la absorción favoreciendo la función inmunitaria y reproducción.

Cabe destacar que las consideraciones implementadas para la realización de este trabajo favorecieron porcentajes de preñez superior a lo reportado a nivel nacional. Por lo tanto, se puede decir que sistemas de producción con buena alimentación y suplementación mineral favorecen la presencia de animales con CC óptima, menor posibilidad a deficiencia mineral y ciclicidad ovárica pueden obtener porcentajes de preñez superiores alrededor del 70%, es decir, 20% superior del promedio nacional (Müller, 1991; Chacón 2000; Chacón 2009).

5 CONCLUSIONES

La adquisición de termo tolerancia por parte de la población en estudio permitió la adaptación a condiciones de ITH hasta 82,5 sin afectar los porcentajes preñez en las diferentes fincas y regiones.

La consideración de parámetros favorables para la reproducción como la CC, la ciclicidad ovárica, salud general y calidad seminal permiten obtener porcentajes de preñez más elevados que inclusive los efectos característicos de cada región.

La temperatura rectal al momento de la IA juega un papel importante en la reproducción, debido a que redujo un 15% la preñez obtenida cuando superó los 39,1°C, tanto en animales *Bos indicus* como cruces (*Bos indicus* x *Bos taurus*).

La calidad seminal, nutrición (minerales y CC) y ciclicidad ovárica cumplen una función más importante sobre los porcentajes de preñez alcanzados en programas de IATF, que los niveles de ITH a los que se exponen las hembras *Bos indicus* y cruces en nuestra región.

6 RECOMENDACIONES

Estudiar el impacto del temperamento con parámetros fidedignos como la medición del cortisol en sangre al momento de IA sobre la respuesta en la TR y porcentaje de preñez en hembras *Bos indicus* y cruces en las condiciones del trópico en protocolos de IATF.

Evaluar los efectos del ITH y TR en cruces (*Bos indicus* x *Bos taurus*) con grado sanguíneo homogéneo y *Bos indicus* bajo las condiciones en las que se desarrolló la investigación con una muestra grande y homogénea en ambas razas y regiones.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, LH; Hyde, KA; Pedroza, GH; Denicol, AC. 2020. Heat stress impairs in vitro development of preantral follicles of cattle (en línea). *Animal Reproduction Science*. 213:106277. Consultado 12 may 2020. DOI:10.1016/j.anireprosci.2020.106277.
- Arias, R.; Mader, T; Escobar, CP. 2012. Climatic factors affecting cattle performance in dairy and beef farms (en línea). *Medicina Veterinaria*. 40(1):7-22. Consultado 2 jun 2020. Disponible en <http://repositoriodigital.uct.cl/handle/10925/687> .
- Armendano, J; Odeón, AC; Callejas, S; Echarte, L; Odriozola, E. 2015. Heat stress and dysthermic syndrome in beef cattle in Buenos Aires province (en línea). *Jornadas Internacionales de Veterinaria Practica*. Consultado 10 jun 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Joaquin_Armendano/publication/283427659_Estres_termico_y_sindrome_distermico_en_bovinos_para_carne_de_la_provincia_de_Buenos_Aires_Heat_stress
- Bó, G; Cutaia, L; Souza, A. y Baruselli, E. 2009. Actualización sobre Protocolos de IATF en Bovinos de Leche Utilizando Dispositivos con Progesterona (en línea). *Sitio Argentino de Producción Animal*. Consultado 15 mar 2020. Disponible en: http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/145-IATF.pdf.
- Brown-Brandl; Tami M. 2018. Comprender el estrés por calor en el ganado de carne (en línea). *Revista Brasileira de Zootecnia*. 27 (1). Consultado 10 mar 2020 DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/rbz4720160414>
- Cabrera, P; Pantoja, C. 2012. Sperm viability and acrosome integrity in national frozen bull semen (en línea). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 23(2). Consultado 6 agos 2020. Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172012000200009

- Capó, M; Senosiaí, V. 2015. Efecto de diferentes medidas de mitigación del estrés por calor sobre el comportamiento y desempeño productivos de vacas lecheras en colonia, Uruguay (en línea). Universidad de la República. Facultad de Veterinaria. Consultado 25 may 2020. Disponible en <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/123456789/10495/1/FV-31481.pdf..>
- Cardona, JC. 2016. Efecto de la castración y pseudocastración con elastrador al nacimiento, sobre el crecimiento, calidad la carne y de la canal, en ganado cebú comercial, bajo condiciones de trópico húmedo en la zona Norte de Costa Rica. Informe de proyecto de investigación (en línea). Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, Costa Rica. 132 p. Consultado 25 septiembre 2019. Disponible en <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6837>
- Chacón, J. 2000. Breeding soundness evaluation of zebu bulls (en línea). PhD Thesis, SLU, Uppsala, Sweden. Consultado 12 mar 2019. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IscScript=FVL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=011454>
- Chacón, J. 2009. Manejo reproductivo y diagnóstico andrológico del toro en ganaderías extensivas del trópico centroamericano (en línea). XXI Reunión Bienal de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA), At San Juan, Puerto Rico. 17:14-29. Consultado 10 mar 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/327164363_Manejo_reproductivo_y_evaluacion_andrologica_del_toro_en_ganaderias_del_tropico_centroamericano
- Charris, CA. 2000. Comparación de celo natural y sincronizado en raza Brahman utilizando dos protocolos evaluados en inseminación artificial (en línea). Tesis Ing. Agr. Zamorano, Honduras, ZAMORANO. 35 p. Consultado 15 may 2020. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5132/1/CPA-2000-T018.pdf>
- Chayer, R y Pasqualini, C. 2009. Condición corporal como herramienta para el seguimiento del manejo nutricional de los vientres en rodeos de cría (en línea). Sitio Argentino de Producción Animal. Consultado 21 febrero 2020. Disponible en

http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/cria_condicion_corporal/25-texto.pdf

- Cooke, R.F; Arthington, JD; Araujo, DB; Lamb, GC. 2009a. Effects of acclimation to human interaction on performance, temperament, physiological responses, and pregnancy rates of Brahman-crossbred cows (en línea). *Animal Science*. 87(10):3403–3412. Consultado 21 mar 2020. DOI: 10.2527/jas.2009-1910
- Cooke, R.F; Arthington, JD; Austin, BR; Yelich JV 2009b. Effects of acclimation to handling on performance, reproductive, and physiological responses of Brahman crossbred heifers (en línea). *Animal Science*. 87:(19):3403-3412. Consultado 28 may 2020. DOI: 10.2527/jas.2009-1910
- Cooke, RF; Bohnert, DW; Meneghetti, M; Losi, TC; Vasconcelos, JLM. 2011. Effects of temperament on pregnancy rates to fixed-timed AI in *Bos indicus* beef cows (en línea). *Livestock Science*. 142:108-113. Consultado 9 mayo 2020. DOI: 10.1016/j.livsci.2011.06.024
- Córdova-Izquierdo, A; Villa-Mancera, A; Olivares, J; Sánchez-Aparicio, P. 2014. Environmental Stress Effect on Animal Reproduction (en línea). *Journal of Animal Sciences*. (4): 79-84. Consultado 2 junio 2020. DOI: 10.4172/2329-888X.1000114
- Corea-Orozco, A; Uribe-Velásquez, L. 2010. Body Condition Score as Tool to Predict the Reproductive Potential of Beef Cows(en línea). *Rev.Fac. Nac.Agron* 63(2): 5607-5619. Consultado 11 mar 2020. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/25049/37044>
- CORFOGA (Corporación Ganadera, Costa Rica). 2015. Censo Nacional Ganadero. Corporación Ganadera y Dirección Nacional de Estadística y Censos. San José, Costa Rica. Consultado 5 dic 2019.
- D’Enjoy, D; Cabrera, P; Vivas, I; Díaz, T. 2012. Dinámica folicular ovárica durante el ciclo estral en vacas Brahman (en línea). *Rev. Fac. Cs. Vets*. 53(1):39-47. Consultado 25 nov 2019.

- De Rensis, F; Garcia, I; López, F. 2015. Seasonal heat stress: Clinical implications and hormone treatments for the fertility of dairy cows (en línea). *Theriogenology*. 84(5):659–666. Consultado 18 feb 2020. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2015.04.021
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M & Robledo, CW. 2017. Grupo InfoStat, FCA. Programa de Computo, versión 24-03-2011. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado 25 oct 2019. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>.
- Díaz RF; Salvador, C; Aranda, E; Aceves, LA; Gallegos, J; Pablos, JL. 2020. Effect of temperature – humidity index on the onset of post- partum ovarian activity and reproductive behavior in *Bos indicus* cows (en línea). *Animal Reproduction*. 17(1):1984-3143. Consultado 10 mar 2020. DOI:10.21451/1984-3143-ar2019-0074
- Dikmen, S; Hansen, PJ. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? (en línea). *Journal Dairy Science* 109-116. p. Consultado 8 may 2020. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2008-1370>.
- Ealy, AD; Drost, M; Hansen PJ. 1993. Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows (en línea). *Journal Dairy Science*. 76(10):2899-2905. Consultado 6 mayo 2020. DOI: 10.3168 / jds.S0022-0302
- Esterman, RD; Alava, EN; Austin, BR; Hersom, MJ; Yelich, JV. 2016. Select Synch and Co-Synch protocols using a CIDR yield similar pregnancy rates after a fixed-time insemination in suckled *Bos indicus* × *Bos taurus* cows (en línea). *Theriogenology*. 85:870-876. Consultado 15 junio 2020. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.10.035>
- Evans, A; Canty, M. 2004. Physiology of follicle development in cattle (en línea). Memoria. Congreso Mundial de Buiatria (23, 2004, Québec, Canadá). Québec, Canadá. 5 p. Consultado 12 mar 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/239547386_Physiology_of_follicle_development_in_cattle

- FCGG (Federación de Cámaras de Ganaderos de Guanacaste, Costa Rica). 2007. Plan Estratégico para el desarrollo de la agrocadena de la ganadería bovina de carne en la Región Chorotega (en línea). Ministerio de Agricultura y Ganadería, Guanacaste, Costa Rica. 72 p. Consultado 10 feb 2020. Disponible en http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionChorotega/Documents/Plan_Estrategico_ganaderia_Chorotega_2007.pdf
- FIRA (Fidecomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, México). 2019. Panorama agroalimentario (en línea). Dirección de Investigación y Evaluación económica y sectorial. Consultado 10 jun 2020. Disponible en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200639/panorama-agroalimentario-de-la-carne-de-bovino-2019/>
- Garmendia, J. 2007. Los minerales en la reproducción bovina (en línea). Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela, Maracay. Consultado 10 agos. Disponible en <http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/xcongreso/minerales.pdf>
- Garnica, CA. 2016. Evaluación del efecto de dos fuentes de vitamina B12 y butafosfan en la sincronización y resincronización de celo con dispositivo intravaginal bovino DIV_B en vacas de carne en Zamorano, Honduras(en línea). Tesis Ing. Agr Zamorano, ZAMORANO. 21 p. Consultado 8 may 2020. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5846/1/CPA-2016-T050.pdf>
- Gaughan, J; Mader, T; Holt, S; Lisle, A. 2008. A New Heat Load Index for Feedlot Cattle. cow (en línea). Journal of animal science. 86(1):226-34. 10 abr 2020. DOI:10.2527/jas.2007-0305.
- Ginger, R; Hoeggel, U. 2011. Adaptación al cambio climático: desafíos para la agricultura campesina (en línea). Center for Development and Environment. Flash Informative No 2. Suiza. P.1. Consultado 8 jun 2020. Disponible en http://www.cambioclimatico.ineter.gob.ni/bibliografia/adaptacion%20al%20cambio%20climatico/network_infoflash2_sp.pdf

- Giraldo, D; Uribe, LF. 2012. Strategies to improve postpartum body condition in beef cattle (en línea). *Biosalud* 11(1): 71-89. Consultado 15 abr 2020. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1657-95502012000100008
- Góngora, A; Hernández, A. 2010. High environmental temperatures affect reproduction in the cow (en línea). *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 13(2):163-173. Consultado 8 feb 2020. Disponible <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n2/v13n2a17.pdf>
- González, F; Linares, L; Mendoza, E. 2016. Evaluación del efecto de un sistema de enfriamiento sobre parámetros fisiológicos y productivos en ganado lechero de la zona costera paracentral de El Salvador. Universidad De El Salvador. Facultad De Ciencias Agronómicas. Departamento De Zootecnia (en línea). Consultado 7 mar 2020. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/9465/1/13101603.pdf>
- Gutiérrez, M. 2018. Estrés calórico en la hembra bovina: cambios fisiológicos in vivo y modelo de estudio in vitro de ovocitos (en línea). Tesis de grado. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de veterinaria. p 16-34. Consultado 25 septiembre 2019. Disponible en <https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/1386/FV-33508.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hansen, PJ. 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress (en línea). *Animal Reproduction Science* 82–83: 349–360. Consultado 21 may 2020. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.011>.
- Hansen, PJ. 2013. Cellular and molecular basis of therapies to ameliorate effects of heat stress on embryonic development in cattle (en línea). Department of Animal Sciences, D.H. Barron Reproductive and Perinatal Biology Research Program, and Genetics Institute, University of Florida, Gainesville, FL, USA. *Animal Reproduction* 10(3):322-333. Consultado 7 jun 2020. Disponible en <https://www.animal-reproduction.org/article/5b5a604bf7783717068b46a0>

- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Segunda comunicación nacional. IMN, San José, CRI. (en línea). Consultado 03 agos. Disponible en <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/el-clima-su-variabilidad-y-cambio-climatico-en-costa-rica/>
- INA (Instituto Nacional de Aprendizaje). 2002. Material didáctico: Módulo de formación Geografía Turística de Costa Rica. Instituto Nacional de Aprendizaje. San José, Costa Rica. 66 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, Costa Rica). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 26 may 2020. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10581.pdf>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, Costa Rica). 2019. Encuesta Nacional Agropecuaria 2017: Resultados generales de las actividades ganaderas vacuna y porcina (en línea). Consultado 25 septiembre 2019. Disponible en <https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/reena2017.pdf>
- Khodaei-Motlagh, M; Shahneh, A; Masoumi, R; Derensis, F. 2011. Alterations in reproductive hormones during heat stress in dairy cattle (en línea). African Journals online. 10 (29). Consultado 1 agos 2020. Disponible <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/94340>
- Komański, GE; Berisso, R; Rodríguez, GA. 2015. Factores que afectan los resultados de la IATF y su impacto económico en rodeos de cría (en línea). Médico Veterinario. Tandil, Argentina. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Consultado el 18 junio. Disponible en <https://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/459/KOMA%C3%91SKI%2C%20GABRIEL%20ELOY%20%E2%80%93%20Facultad%20de%20Ciencias%20Veterinarias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Leaño, Luis C. 2008. Influencia climática sobre la reproducción bovina. Tesis Zootecnista. Sincelejo, Colombia (en línea). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Consultado 8 jun 2020. Disponible en <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/431/2/636.21L437.pdf>
- Lees, A; Salvin, H; Colditz ,I; Lee, C. 2020. The Influence of Temperament on Body Temperature Response to Handling in Angus Cattle (en línea). *Animals Journal*. 10(172). Consultado 3 agos 2020. DOI: 10.3390/ani10010172
- López, F; Lima, R; Satrapa, C; Barros,C. 2012. Influence of cattle genotype (*Bos indicus* vs. *Bos taurus*) on oocyte and preimplantation embryo resistance to increased temperature (en línea). *Journal of Animal Science*. 91(3):1143-1153. Consultado 6 agos 2020. DOI:10.2527/jas.2012-5802
- Lozano, RR; Asprón, MA; Vásquez, CG; Gónzales, E, Aréchiga, CF. 2010. Effect of heat stress on embryo production in superovulated cows and on the pregnancy rate in recipient cows (en línea). *Agronomía Mesoamericana*. 30(3):733-750. DOI: 10.15517/am.v30i3.35984
- Magaña, J; Delgado, R; Segura, J. 2002. Factores ambientales y genéticos que influyen en el intervalo entre partos y el peso al nacer del ganado Cebú en el sureste de México (en línea). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 36(4): 317-322. Consultado 12 mayo 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193018080001.pdf>
- Morales, J; Cavestany, D. 2012. Anestro posparto en vacas lecheras: tratamientos hormonales(en línea). Revisión. *Revista Veterinaria* 48(188): 19-27. Consultado 25 septiembre 2019. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4197262>
- Müller, E. 1991. Andrological evaluation of bulls in the tropics. Proc. Joint IFS-SIPAR seminar in animal reproduction. Paysandú-Uruguay: 143-150. Consultado 25 septiembre 2019.
- Navarro, L; Chacón, J.(inédito). Frozen-Thawed semen quality: Its relationship with the conception rate in tropical beef cattle herds using fix time artificial

insemination. School of Veterinary Medicine, Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. Consultado 25 septiembre 2019. Disponible en

Navas, A. 2010. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical (en línea). *Revista de Medicina Veterinaria* (9): 113-122. Consultado 16 mar 2020. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rmv/n19/n19a10.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2017. El trabajo de la FAO sobre el cambio climático (en línea). Consultado 5 abr 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i8037s.pdf>. Consultado 17 agosto 2018

Palomera, C; Ramírez-Godínez, J; Rodríguez-Almeida, F. 2009. Duración del ciclo estral y dinámica ovárica en vaquillas de doble propósito tratadas con oxitocina en el trópico (en línea). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 7 p. Consultado 2 may 2020. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2317182>

Panadero, A. N. 2010. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical (en línea). *Revista de Medicina Veterinaria*. (19), 113-122. Consultado 17 jun 2020. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rmv/n19/n19a10.pdf>

Peña, A; Linde-Forsberg, C. 2000. Effects of spermatozoa concentration and post-thaw dilution rate on survival (en línea). *Theriogenology*.54: 703-718. Consultado 5 agos 2020. DOI: 10.1016/S0093-691X(00)00384-8

Polsky, L; von Keyserlingk, MAG. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare (en línea). *Journal Dairy Science*. 100(11):8645-8657. Consultado 10 abr 2020. DOI 10.3168/jds.2017-12651

Prada, J; Castro, J; Ardila, A; Chacón, L. 2013. Evaluación de un protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo con variaciones en los días de aplicada la dosis de prostaglandina en novillas Brahman puras y cruzadas (en línea). *Revista Ciencia Animal* (6): 161-175. Consultado 25 septiembre 2019. Disponible en

https://www.researchgate.net/publication/284904902_Evaluacion_de_un_protocolo_de_inseminacion_artificial_a_tiempo_fijo_con_variaciones_en_los_dias_de_aplicada_la_dosis_de_prostaglandina_en_novillas_Brahman_puras_y_cruzadas

Pragna; P; Archana, PR; Aleena, J; Sejian, V; Krishnan, G; Bagath, M; Manimaran, A; Beena, V; Kurien, EK; Varma, G; Bhatta, R. 2017. Heat stress and dairy cow: Impact on both milk yield and composition (en línea). Journal Dairy Science. 12:1-11. Consultado 1 Agos 2020. Disponible en <https://krishi.icar.gov.in/jspui/handle/123456789/27614doi:10.3923/ijds.2017.1.11>

Ptaszynska, M. 2007. Compendium de reproducción animal. 9 ed. Intervet International. 55 p. Disponible en <https://www.sinervia.com/sites/default/files/Compendio%20Reproduccion%20Animal%20Intervet.pdf>

Pulley, S. 2014. Hormonal responses and pregnancy outcomes after five-day ovulation synchronization and presynchronization programs in lactating dairy cows (en línea). Tesis PhD. Manhattan, Kansas, Kansas State University. 85 p. Consultado 16 jun 2020. Disponible en <https://core.ac.uk/reader/33353696>

Ríos e Ibrahim. 2008. Impactos del Cambio Climático sobre los recursos hídricos. Centro agronómico Tropical de investigación y enseñanza. Serie técnica. Boletín Técnico No. 30:3.). Consultado 11 feb 2020.

Rodríguez, J; Unruh, J; Jaeger, J; Reinhardt, C; Villarreal, M & Paniagua, W. 2009. Evaluación del efecto de la castración temprana, al destete, al año sobre el rendimiento, la calidad y terneza de la carne en bovinos de carne (en línea). Corporación de Fomento Ganadero. San José, Costa Rica. 34 p. Consultado 7 mar 2020. Disponible en https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6837/efecto_castraci%C3%B3n_pseudocastraci%C3%B3n_elastrador_nacimiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Rodríguez-Martínez H. 2003. Laboratory semen assessment and prediction of fertility: still utopia (en línea). *Reprod Dom Anim* 38: 312-318. Consultado 5 ago 2020. DOI: 10.1046/j.1439-0531.2003.00436.x
- Ruiz, J; Vargas, B; Abarcar, S; Hidalgo, H. 2019. Heat stress effect on dairy cattle production in Costa Rica (en línea). *Agronomía Mesoamericana*.30(3):733-750. Consultado 8 may 2020. DOI: 10.15517/am.v30i3.35984
- Sakatani, M; Alvarez, NV; Takahashi, M & Hansen PJ. 2012. Consequences of physiological heat shock beginning at the zygote stage on embryonic development and expression of stress response genes in cattle (en línea). *J Dairy Sci*, 95(6)3080-3091. Consultado 10 abr 2020. DOI: 10.3168/jds.2011-4986
- Sakatani, M; Bonilla, L; Dobbs, KB; Block, J; Ozawa, M; Shanker, S; Yao, J & Hansen, PJ. 2013. Changes in the transcriptome of morula-stage bovine embryos caused by heat shock: relationship to developmental acquisition of thermotolerance (en línea). *Reproductive Biology and Endocrinology*. 11:3. Consultado 12 may 2020. DOI: 10.1186 / 1477-7827-11-3
- Sakatani, M; Kobayashi, S & Takahashi M. 2004. Effects of heat shock on in vitro development and intracellular oxidative state of bovine preimplantation embryos (en línea). *Molecular Reproduction Development*.67(1):77-82. Consultado 12 may 2020. DOI: 10.1002/mrd.20014
- Salgado, R; González, M; Simanca, J. 2007. Artificial insemination at fixed time in lactating cows Brahman (en línea). *Revista MVZ Córdoba* 12(2):1050-1053. Consultado 7 junio 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/262443726_Artificial_insemination_at_fixed_time_in_lactating_cows_brahman
- Samal, L. 2013. Heat stress in dairy cows: reproductive problems and control measures (en línea). *Revista Internacional de Investigación Ganadera*.3(3):14-23. Consultado 28 jun 2020. Disponible en <https://www.bibliomed.org/mnsfulltext/68/68-1368778984.pdf?1594524108>

- Santana, M; Eler, J; Oliveira G; Bignardi, A; Pereira, J; Ferraz, J. 2018. Genetic variation in Nelore heifer pregnancy due to heat stress during the breeding season (en línea). *Livestock Science*. 1413(18). Consultado 3 agos 2020. DOI: 10.1016/j.livsci.2018.10.015
- Santos, JEP; Thatcher, WW; Chebel, RC; Cerri, RLA; Galvão, KN. 2004. The effect of embryonic death rates in cattle on the efficacy of estrus synchronization programs (en línea). *Animal Reproduction Science*. 82-83:513-535. . DOI:10.1016/j.anireprosci.2004.04.015.
- Schüller, LK; Michaelis, I; Heuwieser, W. 2017. Impact of heat stress on estrus expression and follicle size in estrus under field conditions in dairy cows (en línea). *Theriogenology*. 102:48-53. p. DOI:10.1016/j.theriogenology.2017.07.004.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, Costa Rica). 2019. Desempeño del Sector Agropecuario 2019 (en línea). Sector Agro Alimentario. Costa Rica. 9 p. Consultado 2 marzo 2020. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E16-11079.PDF>
- Silva, CF; Sartorelli, ES; Castilho, ACS; Satrapa, RA; Puelker, RZ; Razza, EM; Ticianelli, JS; Eduardo, HP; Loureiro, B; Barros, CM. 2013. Effects of heat stress on development, quality and survival of *Bos indicus* and *Bos taurus* embryos produced in vitro (en línea). *Theriogenology* 79(2):351-357. DOI:10.1016/j.theriogenology.2012.10.003.
- Thom, EC.1959. Índice de incomodidad (en línea). *Weatherwise*. 12(2):57-61. Consultado 10 feb 2020. DOI: 10.1080 / 00431672.1959.9926960
- Torres-Júnior, JR de S; Pires, M. de FA; de Sá, WF; Ferreira, A. de M; Viana, JHM; Camargo, LSA; Baruselli, PS. 2008. Effect of maternal heat-stress on follicular growth and oocyte competence in *Bos indicus* cattle (en línea). *Theriogenology*. 69 (2): 155-166. Consultado 6 mayo 2020. DOI: 10.1016 / j.theriogenology.2007.06.023
- Tschopp, J. 2013. Efecto de la adición de GnRH en protocolos de inseminación a tiempo fijo en vacas holando argentino en lactancia (en línea). Tesis MSc. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba. 16 p. Consultado 5 mar 2020.

Disponible en
<http://www.iracbiogen.com.ar/admin/biblioteca/documentos/Trabajo%20Final%20Especialidad%20-Tschopp.pdf>

Uchuari, N. 2013. Evaluación de tres protocolos de sincronización de celo para IATF mediante la utilización del dispositivo intravaginal bovino (DIB), en vacas mestizas Holstein en la Hacienda La Cruz sector Salapa, provincia de Loja. Tesis MVZ. Loja, Ecuador, Universidad Nacional de Loja. 103 p. Consultado 15 mar 2020. Disponible en <http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/11647/1/EVALUACI%C3%93N%20DE%20TRES%20PROTOCOLOS%20DE%20SINCRONIZACI%C3%93N%20.pdf>

USDA (United States Department of Agriculture, United States). 2020. Livestocks and Poultry: World markets and trade(en línea). Foreign Agricultural Service. Consultado 12 mayo. Disponible https://downloads.usda.library.cornell.edu/usdaesmis/files/73666448x/n87108869/rj430q222/livestock_poultry.pdf

Vélez, M; Uribe, LF. 2010. ¿Cómo afecta el estrés calórico la reproducción? (en línea). Biosalud. 9(2):83-95. DOI: 10.12517/dm.v32i3.35984

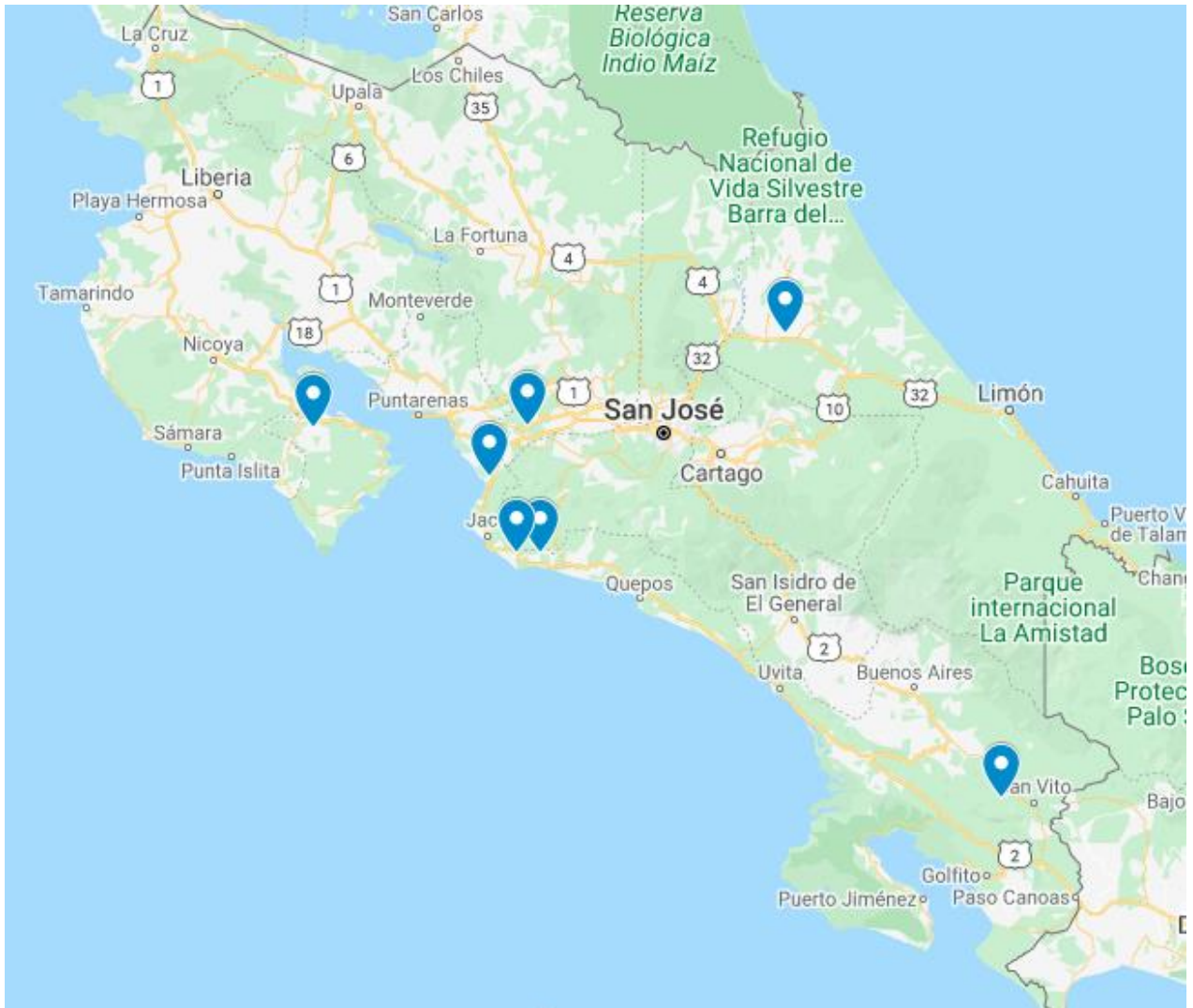
Viguera, B; Watler, W; Morales, M. 2019. Ficha técnica para sistemas productivos con ganado bovino: Como parte del estudio de prácticas efectivas para adaptación de cultivos prioritarios para seguros, en Costa Rica(en línea). MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica). Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-Bovino.pdf>

Villa, NA; Morales, CA; Granada, JF; Mesa, H; Gómez, G; Molina, JJ. 2007. Evaluación de cuatro protocolos de sincronización para inseminación a tiempo fijo en vacas *Bos indicus* lactantes. Revista Científica 17(5). Consultado 6 mar 2020. Disponible en https://www.academia.edu/27601158/EVALUACI%C3%93N_DE_CUATRO_PROTOS_DE_SINCRONIZACI%C3%93N_PARA_INSEMINACI%C3%93N_A_TIEMPO_FIJO_EN_VACAS_Bos_indicus_LACTANTES_Evaluation_of_Four_Synchronization_Protocols_for_Fixed_-_Time_Artificial_Insemination_in_Bos_indicus_Lactating_Cows

- Wang, J; Yang, K; Lu C. 2015. Physiological Responses and Lactation to Cutaneous Evaporative Heat Loss in *Bos indicus*, *Bos taurus*, and Their Crossbreds (en línea). *Asian-Australian Journal of Animal Science*. 28(11). Consultado 3 agosto 2020. DOI: 10.5713/ajas.14.0526.
- West, JW. 2003. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle (en línea). *Journal Dairy Science*. Consultado 13 junio 2020. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X.
- Wettemann, R; Lents, N; Ciccioli, N; White, F; Rubio, I. 2003. Nutritional- and suckling-mediated anovulation in beef cows (en línea). *Journal of Animal Science* 18(14): 48–59. Consultado 5 agos 2020. DOI: 10.2527/2003.8114_suppl_2E48x
- Wolfenson, D; Roth, Z; Meidan, R. 2000. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects (en línea). *Animal Reproduction Science*. (60-61): 535 – 547. Consultado 13 junio 2020. DOI: 10.1016/S0378-4320(00)00102-0
- Yáñez, D; López, J; Quinteros, R; Marin, P. 2018. Fixed-time artificial insemination in beef cattle with prolonged proestrus of 60 and 72 hours (EN LÍNEA). *Agronomía Mesoamericana*. 29(2). Consultado 3 agos 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i2.29503>

8 ANEXOS

Anexo 1. Representación gráfica de la ubicación de las fincas según su ubicación geográfica, Costa Rica, 2020



Anexo 2. Certificación de evaluación del semen de los toros utilizados en el proyecto. Evaluado por el Laboratorio de Andrología – Escuela de Medicina Veterinaria-UNA

Certificado de evaluación semen bovino congelado
Laboratorio de Andrología - Escuela de Medicina Veterinaria-UNA

Fecha: 21-feb-19 Nº de Caso **P 1046**

Remitente: Jorge Morales Propietario: INTA
 Historia/motivo del examen: Se requiere certificar calidad del semen previo a su uso.

DATOS DE LA PAJUELA		
Nombre del toro	COOLEY ROYCE	
Casa Comercial	GENEX CUSTOM COLLECTION SERVICE	
Código/Nº	49CH2465	
Lote #	905832	
EXAMEN DEL SEMEN		
Volumen de pajilla (ml)	0,50	
Espermas totales (millones)	21,25	
Motilidad progresiva % (millones)	80,0	17,00
Motilidad local %	0,0	
Vigor (0-5)	4,0	
	%	millones
Espermas normales	85,0	18,1
Acrosomas dañados)	7,0	
Gránulo acrosómico persistente	0,0	
Defectos de cabeza-núcleo	5,0	
Pieza Intermedia	0,0	
Defectos de cola	3,0	
Gota citoplasmática proximal	0,0	
Gota citoplasmática distal	0,0	
Otros defectos	0,0	
Otras células (Papanicolau)	0,0	

Anexo 3. Correlación lineal obtenida entre el ITH y la TR el día de la IATF, Costa Rica, 2020.

	Temperatura Rectal	ITH Día IATF
Temperatura Rectal	1,0000	0,9058
ITH Día IATF	0,0095	1,0000