



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

PRODUCCIÓN *in vivo* DE EMBRIONES BOVINOS F1 (*Bos taurus* x *Bos indicus*) DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS Y NORTES EN UN AGROECOSISTEMA TROPICAL

LEONARDO GORDILLO PAEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ

2012

La presente tesis, titulada: **Producción *in vivo* de embriones bovinos F1 (*Bos taurus x Bos indicus*) durante la época de lluvias y nortes en un agroecosistema tropical**, realizada por el alumno: **Leonardo Gordillo Paez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: _____
DR. EUSEBIO ORTEGA JIMÉNEZ

ASESOR: _____
DR. FELIPE MONTIEL PALACIOS

ASESOR: _____
DR. PONCIANO PÉREZ HERNÁNDEZ

ASESOR: _____
DR. GUSTAVO LÓPEZ ROMERO

ASESOR: _____
DR. JAIME GALLEGOS SÁNCHEZ

Tepetates, Veracruz, 1 de marzo de 2012

**PRODUCCIÓN *in vivo* DE EMBRIONES BOVINOS F1 (*Bos taurus* x *Bos indicus*)
DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS Y NORTES EN UN AGROECOSISTEMA
TROPICAL**

Leonardo Gordillo Paez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2012

El objetivo fue determinar el efecto de la temperatura ambiental y la humedad relativa sobre la producción *in vivo* de embriones bovinos F1, durante la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical cálido subhúmedo en Veracruz, México. A 22 vacas Cebú se les indujo ovulación múltiple, y siete días después de la inseminación artificial se recolectaron los embriones. Durante el estudio se monitoreó la humedad relativa y temperatura ambiental, y se asociaron con la producción de embriones. Se utilizó la prueba t de Student para detectar diferencias en la producción de embriones, humedad relativa y temperatura ambiental entre épocas. La producción de embriones y cuerpos lúteos fue mayor ($p < 0.05$) en época de lluvias (1.0 ± 1.1 y 5.1 ± 4.8 , respectivamente) que en la época de nortes (0.4 ± 0.7 y 1.3 ± 1.7 , respectivamente). Se encontró diferencia ($p < 0.05$) entre el índice de temperatura-humedad mínimo y máximo durante época de lluvias (64.5 ± 2.1 y 78.4 ± 1.9 , respectivamente) y nortes (63.1 ± 2.1 y 74.4 ± 2.4 , respectivamente). Se concluyó que en estas dos épocas del año, la humedad relativa y la temperatura ambiental, se presentó fuera del rango de confort para el ganado bovino y esto afectó la producción *in vivo* de embriones bovinos F1.

Palabras clave: agroecosistema tropical, índice temperatura-humedad, embriones.

***In vivo* PRODUCTION OF F1 BOVINE EMBRYOS (*Bos taurus* x *Bos indicus*)
DURING THE RAINY AND WINDY SEASON IN A TROPICAL AGROECOSYSTEM**

Leonardo Gordillo Paez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2012

The aim was determine the effect of ambient temperature and relative humidity on *in vivo* production of F1 bovine embryos (*Bos taurus* x *Bos indicus*), during two seasons of the year, in a warm sub-humid tropical agroecosystem in Veracruz, Mexico. Twenty-two Zebu cows were induced to multiple ovulation, and seven days after artificial insemination embryo collection was performed. During the study, the relative humidity and environmental temperature were monitored, and these variables were associated with the production of embryos. The Student's t-test was used to detect the differences in the production of embryos, relative humidity and environmental temperature among seasons. The production of embryos and corpora lutea was higher ($p < 0.05$) in the rainy season (1.0 ± 1.1 and 5.1 ± 4.8 , respectively) that in the windy season (0.4 ± 0.7 and 1.3 ± 1.7 , respectively). A difference was found ($p < 0.05$) between the minimum and maximum temperature-humidity index in the rainy season (64.5 ± 2.1 and 78.46 ± 1.9 , respectively) and in the windy season (63.1 ± 2.1 and 74.4 ± 2.4 , respectively). It was concluded that in these two seasons of year, the relative humidity and environmental temperature, was presented outside the comfort range for cattle and this affected the *in vivo* production of F1 bovine embryos.

Key words: tropical agroecosystem, temperature-humidity index, embryos.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, por aceptarme en el programa de Maestría en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por brindarme la beca para mis estudios.

A mi asesor, Dr. Felipe Montiel Palacios, por guiarme a lo largo de mi trabajo de investigación y mi formación como Maestro en Ciencias.

Al Dr. Rodolfo Canseco Sedano y el equipo de trabajo del laboratorio de Fertilización *in vitro* y Andrología, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, por apoyarme en las diferentes etapas del trabajo.

Al Dr. Carlos Salvador Galina Hidalgo, por el sustento financiero de este estudio.

A mi consejero y asesores, Dr. Eusebio Ortega Jiménez, Dr. Ponciano Pérez Hernández, Dr. Gustavo López Romero, Dr. Jaime Gallegos Sánchez, por apoyarme en mi formación dentro de mis estudios de posgrado.

A mi familia, por el apoyo en el transcurso de esta nueva etapa de mi vida.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. El concepto de agroecosistema	2
2.2. Agroecosistema de producción bovina.....	6
2.3. Agroecosistema tropical de producción bovina de doble propósito.....	7
2.3.1. Ganado F1 como sistema de doble propósito.....	9
2.3.2. Producción de embriones bovinos para la propagación del ganado F1	11
2.4. Elementos climáticos en el agroecosistema que influyen sobre la respuesta reproductiva del ganado bovino	15
2.4.1. Temperatura ambiental	16
2.4.2. Humedad relativa	19
2.4.3. Índice de temperatura-humedad	19
2.4.4. Viento	22
2.4.5. Precipitación pluvial.....	23
2.5. El agroecosistema tropical cálido subhúmedo de Veracruz, México.....	23
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	25
3.1. Objetivo general	25
3.2. Objetivos específicos	25

	Página
3.3. Hipótesis general.....	26
3.4. Hipótesis específicas.....	26
4. MATERIALES Y MÉTODOS	27
4.1. Localización del área de estudio	27
4.2. Temperatura y humedad relativa.....	27
4.3. Características y manejo de los animales experimentales.....	28
4.4. Inducción a la ovulación múltiple e inseminación artificial.....	29
4.5. Recolección de embriones	30
4.6. Análisis estadístico.....	31
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
5.1. Monitoreo meteorológico.....	31
5.1.1. Temperatura ambiental	32
5.1.2. Porcentajes de humedad relativa	36
5.1.3. Índice temperatura-humedad	39
5.2. Embriones y cuerpos lúteos	42
6. CONCLUSIONES	46
7. RECOMENDACIONES	47
8. LITERATURA CITADA.....	47

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Valores máximos y mínimos de temperatura ambiental presentados durante la producción <i>in vivo</i> de embriones bovinos F1, en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.....	33
Figura 2. Valores máximos y mínimos diarios de temperatura ambiental en la época de lluvias (a) y nortes (b), durante la producción <i>in vivo</i> de embriones bovinos F1, en un agroecosistema tropical.....	34
Figura 3. Valores promedio de temperatura por semana, registrados en la época de lluvias y nortes, durante la producción <i>in vivo</i> de embriones bovinos F1, en un agroecosistema tropical.....	35
Figura 4. Valores máximos y mínimos de humedad relativa, registrados durante la producción <i>in vivo</i> de embriones bovinos F1 en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.....	37
Figura 5. Valores medios de humedad relativa registrados en la época de lluvias y nortes, durante la producción <i>in vivo</i> de embriones bovinos F1, en un agroecosistema tropical.....	38

Figura 6. Valores máximos y mínimos diarios de humedad relativa en la época de lluvias (a) y nortes (b), durante la producción <i>in vivo</i> de embriones bovinos F1, en un agroecosistema tropical.....	39
Figura 7. Valores máximos y mínimos del índice de temperatura-humedad presentados durante la producción <i>in vivo</i> de embriones bovinos F1, en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.....	40
Figura 8. Valores mínimos y máximos diarios del índice de temperatura-humedad presentados durante la producción <i>in vivo</i> de embriones bovinos F1, en la época de lluvias (a) y nortes (b), en un agroecosistema tropical.....	42
Figura 9. Embriones y óvulos no fecundados en comparación con los cuerpos lúteos obtenidos, durante la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.....	45

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Valores máximos y mínimos de humedad relativa, temperatura e índice de temperatura-humedad, presentados durante el año 2008 y 2009, en el trópico subhúmedo de Veracruz.....	24
Cuadro 2. Valores promedio por semana de temperatura ambiental presentados durante la producción <i>in vivo</i> de embriones, en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.....	32
Cuadro 3. Valores promedio por semana de humedad relativa presentados durante la producción <i>in vivo</i> de embriones, en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.....	37
Cuadro 4. Valores mínimos (↓) y máximos (↑) del índice de temperatura-humedad presentados durante la producción <i>in vivo</i> de embriones bovinos F1, en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.....	41
Cuadro 5. Calidad y cantidad de embriones recolectados durante la producción <i>in vivo</i> de embriones bovinos F1, en un agroecosistema tropical, durante la época de lluvias y nortes.....	43

1. INTRODUCCIÓN

En los agroecosistemas tropicales de México se encuentra el 63.5 % de la producción bovina nacional (García, 2003; Trueta, 2003); el ganado bovino utilizado es preferentemente cruza *Bos taurus* x *Bos indicus* con la finalidad de tener un animal resistente a las variaciones ambientales del clima cálido, así como una mayor producción de leche y carne (Greiner, 2002; Echeverry *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2006); estas variaciones del clima provocan estrés en el ganado bovino, alterando su comportamiento productivo y reproductivo (Arias *et al.*, 2008; Pino *et al.*, 2009).

Dentro de los cambios del clima presentes en los agroecosistemas tropicales y que afectan la reproducción del ganado bovino se encuentran la temperatura, humedad relativa, viento, precipitación pluvial, radiación solar, luz, nubosidad y presión atmosférica; de estos se observa que la temperatura y humedad relativa tienen efectos más directos sobre el ganado bovino (Córdova *et al.*, 2010).

La temperatura ambiental disminuye la fertilidad e incrementa la mortalidad embrionaria bovina (Velázquez, 2005; Góngora y Hernández, 2010). Los efectos de la temperatura, junto con las variaciones de la humedad relativa, causan estrés en el ganado bovino (Wiersma, 1990; Hernández *et al.*, 2011), presentándose alteraciones endócrinas al inhibir la liberación de gonadotropinas y disminuir la respuesta reproductiva (Arias *et al.*, 2008; Córdova *et al.*, 2010). En programas de producción de embriones bovinos, cuando el índice de temperatura-humedad supera los 69 se presentan pérdidas

embrionarias hasta del 12 % (García-Ispierto *et al.*, 2006), y cuando aumenta de 73 a 78 existe daño celular, disminuye la calidad del embrión y las pérdidas embrionarias son del 21 % (Benyei *et al.*, 2003).

Considerando que las variaciones de los elementos meteorológicos influyen en la respuesta de los programas para la producción *in vivo* de embriones bovinos, y que esta es una biotecnología importante para propagar el ganado F1 (Herradón *et al.*, 2007), lo cual ha sido poco investigado (Thornton *et al.*, 2009), se considera importante estudiar la humedad relativa y la temperatura ambiental que se presentan en los agroecosistemas y cómo influyen en la respuesta reproductiva bovina, para con base en ello proponer estrategias que permitan mejorar la eficiencia en la producción *in vivo* de embriones bovinos y su transferencia. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la temperatura ambiental y la humedad relativa sobre la producción *in vivo* de embriones bovinos F1 (*Bos taurus* x *Bos indicus*), durante dos épocas del año en un agroecosistema tropical cálido subhúmedo en Veracruz, México.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El concepto de agroecosistema

Es un modelo conceptual de la actividad agrícola en su nivel mínimo de control cibernético humano; se encuentra integrado a un sistema agrícola rural regional a través de cadenas de producción-consumo, con interferencias de política y cultura de

instituciones públicas y privadas; se presenta como un sistema contingente abierto, construido a partir de la modificación social de un sistema natural (Martínez *et al.*, 2010). Es conceptualizada también como la unidad física donde se desarrolla indistintamente la actividad agrícola, pecuaria, forestal, acuícola o su combinación, e inciden los factores económicos, sociales, ecológicos y climatológicos para la producción de alimentos y otros satisfactores que la sociedad demanda a través del tiempo (Ruíz, 2006).

El modelo del agroecosistema está basado en la teoría general de sistemas (Bertalanffy, 1976), y se utiliza en relación a su perspectiva de acción y objeto de estudio; es un modelo abstracto y método de investigación que permite representar la unidad de estudio para explicar la realidad (Vilaboa *et al.*, 2009).

Este enfoque surge como una necesidad de la insuficiente capacidad de las disciplinas para resolver los problemas teóricos, especialmente en las ciencias biológicas y sociales (Faden y Beauchamp, 1986; Chiavenato, 1997). Su propósito es analizar los fenómenos desde una perspectiva más amplia, focalizando el conjunto de problemas desde varios ángulos dependientes entre ellos (Vandermeer, 2003). El agroecosistema es un ecosistema modificado por el hombre que interactúa con factores socioeconómicos y tecnológicos, para utilizar los recursos naturales con la finalidad de producir alimentos y servicios en su beneficio (Ruiz, 1995).

Los agroecosistemas se consideran como unidades autopoiéticas, en las que existe un acoplamiento estructural entre seres humanos y ambiente, produciéndose perturbaciones en la base material socioeconómica y en los flujos de materia y energía. Este acoplamiento estructural se encuentra en la relación sociedad-naturaleza; el manejo de sus recursos responde a un patrón social, el cual está conformado por la red de comunicaciones que impera en el sistema institucional y conforma a las sociedades (Bustillo *et al.*, 2009).

Al ser enfocado como un sistema posee estructura, componentes, entradas, salidas y función e interacción entre sus elementos y componentes, los cuales forman un todo como tal, en donde se realiza intercambio de energía, materia e información con la finalidad de lograr un objetivo en particular que coincide con los productos de salida: alimentos, materias primas y servicios. Este presenta distintos niveles de diversidad (Harrington, 1996); dentro de sus características se encuentran la productividad, estabilidad, sustentabilidad, equidad (Conway, 1987) y mantiene un enfoque de autonomía (Marten, 1988).

Los procesos dentro del agroecosistema se optimizan mediante interacciones que emergen de combinaciones específicas espaciales y temporales de cultivos, animales y árboles; se complementan por manejos naturales y con pocos aditivos al suelo (Altieri y Nicholls, 2007).

Es importante evaluar las interacciones entre los diferentes elementos de los agroecosistemas, entre los miembros de una misma especie y entre especies que interactúan en conjunto en el medio ambiente (Shiyomi y Koizumi, 2001). Dentro del estudio del agroecosistema se poseen procesos dinámicos de retroalimentación y control, regulados y autorregulados, como respuesta a variaciones internas y de su entorno (Martínez *et al.*, 2010).

En el agroecosistema el hombre actúa controlando y tomando decisiones, y a su vez, influye y es influenciado por los demás elementos integradores; de igual forma, influye y es influenciado por otros agroecosistemas locales (Morales *et al.*, 2004). El conjunto de estos dentro de una región forma el sistema agrícola regional, éstos el estatal, y así sucesivamente hasta llegar al sistema agrícola mundial (Trebuil, 1990).

Dentro de los agroecosistemas se plantea la sostenibilidad como una de las prioridades del mismo; implica el mantenimiento de la productividad y potencial de un ecosistema utilizado por los seres humanos a través del tiempo (Shiyomi y Koizumi, 2001), lo cual se refiere a la persistencia de la integridad y de la estructura de cualquier sistema en el tiempo (Costanza *et al.*, 2001).

Dentro de este paradigma un sistema comprende la identificación de los componentes del mismo, los insumos que reciben, los flujos internos y los productos que generan, tanto en términos biofísicos como socioeconómicos (Brunett *et al.*, 2005); se define como un conjunto de elementos relacionados entre sí, con un objetivo en común,

actuando en determinado entorno, con capacidad de control, cuyos límites pueden ser físicos y conceptuales. Estos sistemas se pueden clasificar en diferentes categorías para su descripción y análisis, como sistemas físicos y abstractos: los físicos consisten de objetos reales y los abstractos son los conceptos; sistemas naturales y artificiales: el natural, por ejemplo, es el sistema solar, mientras que el artificial es desarrollado por el hombre para su beneficio; sistemas permanentes y temporales: el primero puede ser el sistema solar que opera por largos periodos, y el segundo está planeado para funcionar por un periodo limitado; subsistemas y supersistemas: cada subsistema está dentro de un gran sistema, y el conjunto de estos forman un supersistema (Mojica, 2002).

2.2. Agroecosistema de producción bovina

El sistema de producción bovina en México es una de las principales actividades del sector agropecuario del país y representa el 28.9 % en la producción pecuaria nacional (Escalante y Catalán, 2008).

La ganadería bovina, dentro del enfoque de agroecosistema, no se analiza como un simple sistema de producción, sino también se observan los aspectos ambientales, socioeconómicos, tecnológicos y productivos. Dentro de los sistemas de ganado bovino existen diversas modalidades de producción, que van desde los tecnificados hasta los orientados hacia el autoconsumo (Oros *et al.*, 2011).

2.3. Agroecosistema tropical de producción bovina de doble propósito

Los sistemas bovinos de doble propósito en las regiones tropicales surgen con la finalidad de producir carne y leche a bajo costo, así como generar fuentes de empleo (Sölkner *et al.*, 2000). En el trópico del continente americano se estima que se maneja aproximadamente 78 % del total de bovinos bajo este sistema, mismo que aporta el 41 % de la leche de esas regiones. México se sitúa entre los diez primeros productores de carne y leche en todo el mundo, y su ganadería tropical aporta el 20 y 40 % de leche y carne, respectivamente, consumida en el país; de esta cantidad, la mayor parte de leche y aproximadamente el 50 % de la carne son producidas por animales manejados en el sistema de doble propósito (Pérez *et al.*, 2003; Rojo *et al.*, 2009).

Este sistema de producción bovina basa su alimentación en el pastoreo; principalmente se maneja un ordeño al día con el apoyo de los becerros y éstos son vendidos a los 6 a 8 meses de edad para producir carne; este tipo de ganadería se desarrolla en más de 40 millones de hectáreas y concentra 45 % del inventario bovino nacional. Se han identificado cinco tipos de ganadería bovina de doble propósito, los cuales se denominan: 1) empresarial, son sistemas semitecnificados que corresponden a productores agroindustriales con más de 70 bovinos; 2) de transición pecuaria, con sistemas semitecnificados y combinan la ganadería con la agricultura; 3) familiar agropecuario, ganadería tipo extensiva con infraestructura media; 4) familiar pecuario, ganadería de traspatio diversificada con maíz, presenta poca infraestructura y

producción; y 5) de subsistencia pecuario, utilizan nula infraestructura y tienen baja producción (Chalate *et al.*, 2010).

Se han descrito indicadores productivos y reproductivos para los sistemas bovinos de doble propósito en el trópico, dentro de ellos se encuentran: peso del becerro al nacimiento de 28.9 ± 5.2 kg, intervalo entre parto y primer estro de 93 ± 15.8 días, producción de leche por vaca al día de 8.3 ± 1.8 L (Martínez *et al.*, 2006), producción por lactancia de $2\ 290 \pm 1.2$ kg, duración de lactancia 280 ± 5.1 días (Simón *et al.*, 2010), edad al destete de 303.7 ± 64.2 días, ganancia de peso pre-destete por día de 452.9 ± 4.6 g y peso al destete de 146.0 ± 35.5 kg (González *et al.*, 2006).

En cuanto a la sustentabilidad financiera en este tipo de ganadería, se trabaja con recursos propios y puede ser un sistema estable; el punto de equilibrio se obtiene al producir 241 864.4 y 14 288.7 kg año⁻¹ de carne y leche, respectivamente. En este sistema el 67 % del ingreso es por venta de leche y el 33 % por venta de carne; los costos fijos representan el 52 % y los variables el 48 % (Ruíz *et al.*, 2008).

Dentro de los factores limitantes para lograr la sustentabilidad en los sistemas pecuarios tropicales, se encuentra la necesidad de promover investigación holística aplicable, deficiencia en la gestión empresarial, evaluación del impacto de factores internos y externos, alternativas de diversificación y mejoramiento de la calidad de productos. Las fortalezas fundamentales de los sistemas de doble propósito se relacionan con la posibilidad de expresar sostenibilidad ecológica, económica y social,

de utilizar sistemas de pastoreo que bien manejados no degradan al ecosistema, con animales criados en condiciones naturales, el uso tecnológico de bajos insumos y poco uso de aditivos (Urdaneta, 2009).

Existen diferentes modelos para realizar la evaluación de la sustentabilidad, dentro de los cuales destacan el uso de los modelos desde el enfoque del agroecosistema, el cual plantea la interrelación entre la agronomía, ecología y teoría de sistemas; además, busca entender a los sistemas de producción con base en las interacciones entre sus componentes a diferentes escalas geográficas. Los componentes del agroecosistema son biológicos (recursos naturales en su totalidad), sociales, políticos, económicos y humanos; sus objetivos productivos y de conservación de los recursos son claves en estos sistemas (Candelaria *et al.*, 2011).

2.3.1. Ganado F1 como sistema de doble propósito

En los agroecosistemas con producción bovina en el trópico es común utilizar vacas F1 (*Bos taurus* x *Bos indicus*) resultado de la cruce de hembras cebú con machos de razas europeas lecheras, con la finalidad de tener un sistema de doble propósito, con un animal que exprese la heterosis (Riley y Crockett, 2006). La heterosis es la superioridad en el rendimiento de los animales producto de la cruce de dos razas puras comparado con la media de los progenitores (Echeverry *et al.*, 2006).

Las hembras F1 tienen como ventaja una mayor producción de carne y leche (10 a 20 %) por vaca al año en comparación con las razas cebú (Vaccaro *et al.*, 1997); las hembras F1 tienen mayor porcentaje de parto y facilidad de parto, debido a que son capaces de restringir el peso del becerro al nacimiento hasta por 5 kg, aunado a su mayor área pélvica comparada con las *Bos taurus* (Olson, 2002).

En vacas F1 el porcentaje de parto es 13.4 % más alto que en las hembras *Bos taurus* y tienen mayor tasa de supervivencia (Vega *et al.*, 1996; Olson, 2002). Además, el peso al destete de las vacas F1 con respecto a las vacas Holstein y $\frac{3}{4}$ europeo, es de aproximadamente 60 kg mayor (Teyer *et al.*, 2003).

También se presentan otras ventajas como el nivel de heterosis materno, debido a que el peso del becerro es 16 % mayor para las F1, con respecto a las *Bos taurus* (Olson, 2002). Las vacas Holstein x cebú (F1) producen más leche por lactancia que otro tipo de cruzamientos como el Holstein x Suizo Pardo x cebú (Hernández *et al.*, 2000). Además del aumento en la cantidad de producción láctea, se puede encontrar un aumento en su calidad, con valores de 6.3 y 5.4 % en grasa y proteína, respectivamente, lo que refleja una mejor calidad de la leche en el hato, en comparación con los porcentajes promedio de grasa y proteína, que son de 3.4 y 3.0 %, respectivamente. Lo anterior se considera como una de las ventajas del cruzamiento de las dos razas para el mejoramiento de la cantidad y calidad de la leche (Quijano y Montoya, 2000).

El uso de cruzamientos en bovinos para obtener hembras F1 en el trópico ha permitido resolver importantes problemas reproductivos y de adaptación, entre ellos el intervalo entre partos, la tasa de fertilidad, los pesos al destete, la producción láctea, la resistencia adecuada a un gran número de enfermedades causadas por parásitos y bacterias, la tolerancia a factores ambientales tales como las altas temperaturas que causan estrés calórico, la rusticidad y la adaptación al trópico (González *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2006).

2.3.2. Producción de embriones bovinos para la propagación del ganado F1

La primera transferencia de un embrión de la especie bovina fue reportada por Umbaugh en el año de 1949 y el nacimiento del primer becerro producto de la transferencia de embriones fue dos años después (Willett *et al.*, 1951). La aplicación de la transferencia de embriones por la industria ganadera se inició en la década de 1970, cuando el sistema de producción de ganado bovino doble propósito de Europa se hizo popular en Norte América, Australia y Nueva Zelanda (Seidel y Seidel, 1991).

Aunque la inseminación artificial es una biotecnología eficiente y a bajo costo para el mejoramiento genético, la contribución genética materna no es aprovechada de forma rápida, ya que solo se obtiene una cría por vaca al año; por el contrario, con la transferencia de embriones la parte materna tiene una considerable influencia sobre las tasas de respuesta genética; así, implementar esta tecnología acelera la ganancia genética con la contribución de ambos sexos, según los criterios de selección

apropiados al medio ambiente y los objetivos individuales de cada sistema de producción (Colazo y Mapletoft, 2007).

La producción de embriones en bovinos es un método útil para mantener la heterosis de manera indefinida en el hato, debido a que los embriones producidos de dos razas diferentes pueden transferirse a receptoras F1, manteniéndose en 100 % la heterosis (Olivera, 2003).

Existen diversos esquemas para la producción de embriones en bovinos de acuerdo a las características del animal y su entorno (Bolívar y Maldonado, 2008). Dentro de ellos se tienen la producción *in vivo* e *in vitro*; ambas tienen como objetivo maximizar la descendencia de una hembra donadora, con características productivas y reproductivas que requieran los sistemas de producción ganadera (Herradón *et al.*, 2007; Cabrera *et al.*, 2008).

La producción *in vivo* de embriones consiste en la aplicación de un tratamiento hormonal a una vaca donadora para inducir la ovulación múltiple, realizar la inseminación artificial y recolectar los embriones (Seidel y Seidel, 1991), mientras que la producción *in vitro* consiste en obtener óvulos directos del ovario y madurar, fertilizar y cultivar el embrión hasta alcanzar su desarrollo a blastocisto, bajo condiciones específicas en el laboratorio (Suthar y Shah, 2009).

Los embriones producidos mediante la técnica *in vivo* y transferidos tienen como ventaja una mayor tasa de gestación con respecto a los producidos *in vitro* (Farin y Farin, 1995; Farin *et al.*, 1999). Los embriones producidos *in vitro* presentan más anomalías embrionarias, tales como falta de uniones desmosómicas, reducción en el número de microvellosidades, aumento en el número de gotas lipídicas, desechos en el espacio perivitelino, así como cavidades intercelulares (Rizos *et al.*, 2002), y mayor frecuencia de muerte celular en el embrión por causa de la apoptosis producida en la masa celular interna (Gjorret *et al.*, 2003).

En la producción *in vivo* de embriones bovinos, el rango de embriones transferibles obtenido en cada recolección ha aumentado de 2 a 6 a 6 a 10 durante el periodo de 1980 al 2007, respectivamente (Barros y Nogueira, 2001; Colazo y Mapletoft, 2007; Herradón *et al.*, 2007).

Las técnicas de recolección, almacenamiento y transferencia de embriones bovinos han sido simplificadas a través del tiempo con el desarrollo de técnicas no quirúrgicas y métodos para conservar embriones. La producción de embriones en bovinos es limitada, por las diferencias en la respuesta de las vacas donadoras a la ovulación múltiple y a los costos de la técnica. Una técnica para almacenar este material genético consiste en la criopreservación, que permite comercializar los embriones a otras partes del mundo de forma segura y utilizarlos en el momento requerido (Segura y Montes, 2001).

La sincronización del ciclo estrual es parte de los protocolos de producción *in vivo* de embriones bovinos y se realiza utilizando progesterona (P4) y progestágenos, en forma de implantes subcutáneos que contienen norgestomet. Se han desarrollado diversos protocolos para la producción *in vivo* de embriones bovinos, aunque no se han podido estandarizar o garantizar los resultados (Murphy *et al.*, 1984; Gutiérrez *et al.*, 2005; Peralta *et al.*, 2010; Ledezma *et al.*, 2011).

La respuesta obtenida en los protocolos de producción *in vivo* de embriones depende en parte de la dosis hormonal utilizada en el tratamiento; con dosis de 100, 50 y 25 µg de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) como tratamiento previo para la ovulación múltiple se han obtenido 22.3, 17.5 y 22.3 ovocitos y embriones promedio, respectivamente; cuando se utiliza una dosis de 25 µg se obtiene un mayor número de embriones viables (Sato *et al.*, 2005). A su vez, en vacas Nelore tratadas con 250 y 500 UI de hormona folículo estimulante (FSH) se han producido 4.2 y 3.2 embriones viables; estos resultados varían incluso con el mismo tratamiento debido a factores externos presentes en el ambiente del ganado bovino (Lomas *et al.*, 2002).

La producción de embriones también depende de los procedimientos utilizados; cuando se usa la inseminación artificial a tiempo fijo, con sincronización mediante dispositivos de liberación lenta de P4, se han obtenido en promedio seis embriones en vacas productoras de carne y leche, mientras que cuando se realiza inseminación artificial a celo detectado en vacas sincronizadas con prostaglandina F2α (PGF2α), se han obtenido siete y cinco embriones, respectivamente (Bo y Mapletoft, 1999).

2.4. Elementos climáticos en el agroecosistema que influyen sobre la respuesta reproductiva del ganado bovino

Las actividades humanas sobre la tierra ocasionan variaciones del clima, alteran las cantidades de gases en la atmósfera, las propiedades biológicas y químicas del suelo, y repercuten en el organismo de los seres vivos (Vitousek, 1994), debido a que los cambios climáticos ocasionan variación de los elementos atmosféricos, entre ellos las temperaturas mínimas y máximas (Karl *et al.*, 1993).

Durante las diferentes estaciones del año en el planeta han sido detectados cambios en la temperatura ambiental, particularmente en las regiones del hemisferio norte. Diversos modelos climáticos pronostican alteraciones del clima en el mundo, con un aumento en la concentración de CO₂ atmosférico, incrementos en la temperatura de 1.4 a 5.8 °C en los próximos 100 años y cambios en la distribución de la precipitación pluvial con un aumento del 65 % en las máximas (Houghton *et al.*, 2001; Velázquez, 2005; Klohn y Faurés, 2006).

Los cambios en la temperatura y humedad relativa afectan el equilibrio térmico y la eficiencia productiva y reproductiva del ganado bovino productor de carne y de leche (Amundson *et al.*, 2006). Así, la temperatura, el viento, la humedad relativa, la precipitación pluvial, la radiación solar, la luz, la nubosidad y la presión atmosférica pueden determinar la conducta reproductiva del ganado bovino en los trópicos (Pino *et al.*, 2009; Córdova *et al.*, 2010). Los anteriores elementos, junto con factores como

latitud, altitud, relieve, suelo y cubierta vegetal, generan una diversidad de climas en regiones o microrregiones, determinando las potencialidades y limitaciones para el uso de estas zonas agroecológicas (FAO, 1997).

Las condiciones del ambiente determinan la calidad y cantidad de alimentos, agua y energía de cada región, lo que a su vez influye en la producción y reproducción del ganado bovino (Arias *et al.*, 2008). Los animales responden a las condiciones adversas del clima, de tal forma que modifican los mecanismos fisiológicos y alteran su comportamiento para regular su temperatura corporal dentro de un rango normal, y como consecuencia, es posible observar una disminución de 14 a 20 % en la conversión de alimento, de 5 a 14 % en producción láctea y de 36 % en la tasa de concepción (Khalifa, 2003; Arias *et al.*, 2008).

2.4.1. Temperatura ambiental

La temperatura ambiental influye sobre el animal y determina si puede criarse en una región, al condicionar el confort y funcionamiento de sus procesos fisiológicos. La temperatura del ambiente afecta la temperatura corporal, pues esta se pierde por mecanismos físicos desde la piel hacia el aire más fresco del ambiente; si la temperatura del aire es superior al rango de confort se disminuye la pérdida de calor, y si aumenta por arriba de la temperatura de la piel el calor fluirá de manera inversa; a su vez, cuando la temperatura del aire es baja, el calor procedente del cuerpo del animal

fluirá hacia el exterior hasta provocar falta de confort, deprimir la función hormonal y reducir la eficiencia reproductiva (Stott y Wiersma, 1973; Córdova *et al.*, 2010).

Cuando el ganado bovino está sujeto a una temperatura ambiente superior o inferior a su zona de confort, tiene lugar una serie de cambios fisiológicos y bioquímicos, reduciéndose el consumo de alimento, los procesos metabólicos de la digestión y el peso, además de tener efectos endócrinos al reducir las secreciones de hormonas reproductivas como estrategia adaptable para tolerar la tensión de calor o frío (Brosh *et al.*, 1998; Hafez, 2000).

La temperatura ambiental puede alterar la tasa de gestación en el ganado bovino; a una temperatura de 21.1 °C y humedad relativa de 65 % se obtiene una tasa de gestación de 48 %, mientras que a 32.3 °C con la misma humedad relativa el porcentaje de gestación es de 0 %. Estos cambios de temperatura alteran las constantes fisiológicas; así, cuando el ganado se somete a una temperatura ambiental de 21.1 °C, la temperatura corporal es de 38.5 °C y 47.3 respiraciones por minuto, mientras que cuando se somete a 32.3 °C, la temperatura corporal es de 40 °C y 105.3 respiraciones por minuto, observándose diferencias significativas en la respuesta fisiológica entre temperaturas (Dunlap y Vincent, 1971).

Cuando la temperatura aumenta de 21 a 35 °C un día después de la inseminación, el porcentaje de concepción disminuye de 40 a 31 % (Román, 1978). La exposición de embriones de menos de ocho células a una temperatura de 41 °C durante 6 h en el día

5 después de la inseminación disminuye su desarrollo a la etapa de blastocisto y el número de células por embrión (Lopes *et al.*, 2003). Estas variaciones de temperatura fuera de los rangos termoneutrales del ganado bovino causan estrés, afectando la función folicular y cambios en el tamaño del folículo y la secreción de las hormonas hipofisarias que controlan su desarrollo (Bridges *et al.*, 2005). Además, se presenta una variación en la liberación de FSH y hormona luteinizante (LH), así como una baja capacidad de respuesta folicular a esta última mediada por los receptores foliculares e inhibiendo la lisis del cuerpo lúteo. El estrés provocado por las temperaturas fuera de los límites del ganado bovino (26 a 27 °C) induce luteinización prematura de las células foliculares o presencia de folículos persistentes, lo que se asocia con la reducción de la fertilidad en el ganado bovino (Roth *et al.*, 2000; Bridges *et al.*, 2005).

La exposición al estrés calórico provoca alta incidencia de mortalidad embrionaria (Hansen *et al.*, 2001), reduce la presencia de conducta estral (De Rensis y Scaramuzzi, 2003), afecta el proceso de esteroidogénesis en las células foliculares (Roth *et al.*, 2001; Bridges *et al.*, 2005) y disminuye la viabilidad de los ovocitos para desarrollar un embrión viable, lo que causa una baja respuesta en los programas reproductivos (Al-Katanani *et al.*, 2002; Roth y Hansen, 2004).

El estrés térmico durante la maduración de los ovocitos en un modelo *in vitro* promueve una respuesta de apoptosis celular mediada por las proteasas caspasas del grupo II, que a su vez altera la capacidad del ovocito para su fertilización y desarrollo

(Roth y Hansen, 2004), disminuye la mitosis y aumenta la oxidación intracelular (Sakatani *et al.*, 2004).

2.4.2. Humedad relativa

Los estudios del efecto de la humedad relativa sobre la función reproductiva en bovinos son limitados, pero cuando es relacionado con otros factores como la temperatura, y esta última se encuentra fuera del rango de confort, la humedad relativa adquiere importancia para la homeostasis del animal. La humedad del aire reduce notablemente la tasa de pérdida de calor del animal e interviene en el enfriamiento por evaporación a través de la piel y del tracto respiratorio; si la humedad es baja (zonas cálidas y secas), la evaporación es rápida; por el contrario, si la humedad resulta elevada (zonas cálidas y húmedas), la evaporación es lenta, reduciéndose la pérdida de calor, lo que altera el equilibrio térmico del animal y afecta el estado fisiológico-endócrino, determinantes para la reproducción animal (Hafez, 2000; Villagómez *et al.*, 2000).

2.4.3. Índice de temperatura-humedad

El efecto del cambio de la temperatura y humedad relativa en el ganado bovino se ha relacionado con la viabilidad económica de los diversos sistemas de producción animal, ya que el aumento de la temperatura ambiente durante los períodos de verano se asocia con la disminución del consumo voluntario de alimento, provocando reducciones de peso en el ganado de engorda y baja de la producción láctea en el

ganado lechero. Para evaluar este efecto se utiliza la temperatura asociada con la humedad relativa como un indicador para medir el nivel de estrés sobre el animal (Frank *et al.*, 2001; Arias *et al.*, 2008), y se evalúa mediante el uso del índice de temperatura-humedad, donde se combinan ambos elementos (Collier y Zimbelman, 2007).

El índice de temperatura-humedad se utiliza para medir el grado de estrés del ganado bovino y se clasifica de la siguiente forma: menor de 72 como una zona de confort, entre 72 y 79 como un ambiente de estrés, de 80 a 89 estrés moderado, y los valores superiores a 90 como estrés grave (Wiersma, 1990).

El estrés causado por los índices fuera de los rangos de confort es percibido por el sistema nervioso, provocando alteraciones endócrinas como la inhibición de la liberación de LH y FSH, lo cual provoca un efecto negativo en la respuesta ovárica (Gilad *et al.*, 1993; Dobson y Smith, 1995); se reporta que el estrés causado por los cambios en la temperatura y humedad relativa, es responsable de bajo porcentaje de concepción y de alta mortalidad embrionaria (Román, 1978). En bovinos sometidos a índices de temperatura-humedad de 66 y 76 se obtiene una tasa de gestación de 67 y 27 %, respectivamente (Ingraham *et al.*, 1974).

Cuando el índice de temperatura-humedad es superior a 70, se presenta estrés en el bovino, disminuye la somatotropina plasmática, se altera la concentración de triyodotironina debido a la supresión hormonal para reducir la producción de calor

metabólico y se presentan cambios en las funciones reproductivas (West, 2003); así, cuando el índice de temperatura-humedad sobrepasa los 69 se pueden presentar pérdidas embrionarias del 12 % (García-Ispierto *et al.*, 2006).

Las alteraciones endócrinas producidas por los cambios en el índice de temperatura-humedad ambiental fuera de rangos de confort afectan los programas de producción de embriones en bovinos; cuando estos índices son de 70.7, 73.9 y 79.7 se obtiene un promedio en la formación de cuerpos lúteos de 9.8, 9.7 y 5.2, respectivamente, observándose valores similares en la respuesta con los dos primeros índices, no así para el tercer valor. El resultado en la producción de embriones con índices entre 70 y 74 es de 5.8; sin embargo, con índices superiores a 79 disminuye a 4.2. La proporción de embriones vivos obtenidos en un programa reproductivo es de 59.2 y 38.2 % para ambientes con índices de temperatura-humedad de 74 y 79, respectivamente, mientras que cuando estos son superiores a 79 existe daño celular y disminuye la calidad del embrión, lo que muestra la importancia de valorar el índice de temperatura-humedad para evaluar los resultados de los programas de producción *in vivo* de embriones en bovinos (Benyei *et al.*, 2003).

La implantación es un momento crítico en el cual se presentan complejas interacciones de señalización entre el embrión y la madre, las cuales pueden alterarse por los cambios del entorno animal, observándose que las variaciones ambientales fuera de los rangos del confort para el ganado bovino causan pérdidas embrionarias que van del 8 al 25 % (Hansen, 2002).

El estrés asociado con las altas temperaturas en combinación con un aumento de humedad relativa fuera de rangos de confort disminuye la tasa de preñez en las vacas de 75.7 a 15.8 % (Sprott *et al.*, 2001). Los valores óptimos en el índice de temperatura-humedad para que ocurran la fertilización y gestación están dentro de 64 y 68; cuando el índice de temperatura-humedad aumenta de 70 a 84, la tasa de preñez de las vacas disminuye de 55 al 10 %, se deprime la actividad estral acortándose el tiempo de manifestación del estro de 17 a 12 h debido a la disminución de las cantidades de estradiol en sangre, y aumenta la mortalidad embrionaria (Amundson *et al.*, 2006; Hansen, 2009).

2.4.4. Viento

En zonas cálidas cuando existe alta temperatura e incremento en la velocidad del viento, aumenta la disipación del calor del ganado bovino; la sudoración y su pelaje corto hacen que el viento por convección disipe mejor la energía calórica, proporcionando mayor confort (Villagómez *et al.*, 2000). Sin embargo, la relación del viento con bajas temperaturas, alta humedad relativa y precipitación pluvial, puede provocar estrés, disminuir las defensas y predisponer a enfermedades al ganado bovino (Córdova *et al.*, 2010).

2.4.5. Precipitación pluvial

En las épocas cuando existe mayor precipitación pluvial y humedad relativa, se puede provocar estrés en las vacas y disminuir la duración del estro (Villagómez *et al.*, 2000). Además, en estas épocas se observa disminución en la producción de forrajes e incidencia en la aparición de enfermedades y parásitos. En zonas húmedas y cálidas con precipitaciones abundantes, el pH del suelo es generalmente bajo, debido a la lixiviación del calcio y fósforo, disminuyendo el valor nutritivo de las pasturas y modificando la condición corporal del ganado bovino (Córdova *et al.*, 2010).

2.5. El agroecosistema tropical cálido subhúmedo de Veracruz, México

La región central de Veracruz se compone de una llanura que desciende ligeramente desde la Sierra Madre Oriental, como una amplia llanura costera típica con pocos relieves. La plataforma continental es estrecha y ha sido influenciada por el crecimiento de arrecifes frente a Veracruz. Sin embargo, de manera significativa hacia el sureste se cubre con una cantidad variable de consolidados arenales (Franco *et al.*, 2010). Esta región se encuentra delimitada por tres subtipos climáticos dentro de los subhúmedos: Aw_0 , como los cálidos, los más secos de los subhúmedos, con un índice de Lang menor a 43.2; Aw_1 , correspondiente a los cálidos subhúmedos intermedios, con un índice de Lang entre 43.2 y 55.3; y Aw_2 , cálidos, los más húmedos de los subhúmedos, con un índice de Lang mayor a 55.3 (Soto *et al.*, 2001).

Esta región cuenta con tres épocas bien definidas en el año, la seca que comprende los meses de marzo a junio, lluvias de julio a octubre y nortes de noviembre a febrero (Arellano *et al.*, 2006). En la época de lluvias se tiene una precipitación de 43.5 % del total anual (693 mm), temperatura media máxima y mínima de 31.9 ± 0.4 y 21.0 ± 0.3 °C, respectivamente; en la época de nortes llueve el 30 % de la precipitación anual (478 mm), con temperatura media máxima y mínima de 24.7 ± 0.5 y 15.2 ± 0.5 °C, respectivamente; en la sequía se presenta el 26.5 % de la precipitación pluvial anual (423 mm), temperatura media máxima y mínima de 30.8 ± 0.8 y 20.1 ± 0.6 °C, respectivamente. En estas épocas del año se presentan variaciones de la temperatura y humedad relativa (Cuadro 1), que provocan alteraciones en la productividad del ganado, cuyas consecuencias no han sido del todo investigadas (Alonso *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Valores máximos y mínimos de humedad relativa, temperatura e índice de temperatura-humedad, presentados durante el año 2008 y 2009, en el trópico subhúmedo de Veracruz.

Año	Época	Humedad relativa (%)		Temperatura (°C)		Índice de temperatura-humedad	
		↓	↑	↓	↑	↓	↑
2008	N	40	68	20	35	64	88
	S	46	66	25	36	71	89
	LI	44	70	22	35	67	88
2009	N	45	81	19	32	63	86
	S	43	60	25	35	71	86
	LI	34	80	21	47	65	110

* Nortes (N); Secas (S); Lluvias (LI); Mínimas (↓); Máximas (↑).
(Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, 2011)

El índice de temperatura-humedad se ha modificado con el tiempo. En la región de Veracruz, se observó que en el periodo de 1991-2008 los índices de temperatura-

humedad fueron alrededor de 80, mientras que para los años 2020, 2050 y 2080 se pronostican índices de 83, 85 y 86, respectivamente. Lo anterior muestra que el índice de temperatura-humedad tiene una tendencia creciente, y cada vez se aleja de los rangos de confort para el ganado bovino (Hernández *et al.*, 2011).

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la temperatura ambiental y la humedad relativa sobre la producción *in vivo* de embriones bovinos F1 (*Bos taurus* x *Bos indicus*), durante la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical cálido subhúmedo en Veracruz, México.

3.2. Objetivos específicos

1. Determinar como se presenta la temperatura ambiental, la humedad relativa y del índice de temperatura-humedad sobre vacas sometidas a un programa de producción *in vivo* de embriones F1, durante la época de lluvias y de nortes, en un agroecosistema tropical.

2. Conocer la respuesta de producción de embriones en vacas sometidas a un programa de producción *in vivo* de embriones bovinos F1, durante la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.

3.3. Hipótesis general

La temperatura ambiental y la humedad relativa presentes durante la época de lluvias y de nortes, en un agroecosistema tropical cálido subhúmedo de Veracruz, México, afectan la respuesta de la producción *in vivo* de embriones bovinos F1, debido a que alteran la respuesta endócrina y los mecanismos hormonales necesarios para la reproducción.

3.4. Hipótesis específicas

1. En el agroecosistema tropical cálido subhúmedo la temperatura ambiental, la humedad relativa y el índice de temperatura-humedad, durante la época de lluvias y de nortes, fluctúan significativamente entre las máximas y mínimas, presentando condiciones fuera de los rangos de confort para el ganado bovino.
2. La producción *in vivo* de embriones bovinos, durante la época de lluvias y de nortes en un agroecosistema tropical cálido subhúmedo, presenta resultados inferiores a seis embriones viables producidos, catalogado como el mínimo ideal para esta

biotecnología, debido a que las condiciones climatológicas presentes en el ambiente durante estas dos épocas del año alteran dicha respuesta en el ganado bovino.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización del área de estudio

Esta investigación se realizó en un agroecosistema de producción bovina de carne (*Bos taurus* x *Bos indicus*) denominado “Finca Oluta”, ubicado en el municipio de Veracruz, en Veracruz, México. Geográficamente se localiza a 19° 10' 40" latitud norte y 96° 16' 4" longitud oeste, a una altura de 10 msnm, con clima tropical cálido subhúmedo (Aw_2), temperatura media anual de 25.2 °C y precipitación pluvial media anual de 909 mm (Díaz, 2006; González *et al.*, 2009).

4.2. Temperatura y humedad relativa

Los datos de la temperatura y humedad relativa se obtuvieron de la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz (CPVerAES1), ubicada en la carretera federal Xalapa-Veracruz km 88.5 predio Tepetates, municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, localizada a una distancia de 6 km del área de estudio.

La temperatura (°C) y humedad relativa (%) se monitorearon cada media hora todos los días del estudio, durante la época de lluvias (tercera semana de septiembre a cuarta de octubre) y nortes (segunda semana de noviembre a tercera de diciembre) de 2010.

Se calculó el índice de temperatura-humedad (ITH) (Cruz y Saravia, 2008) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{ITH} = (1.8 \text{ Ta} + 32) - (0.55 - 0.55 \text{ Hr}/100) (1.8 \text{ Ta} - 26)$$

Donde:

Ta: Temperatura del aire (°C)

Hr: Humedad relativa (%)

El ITH se clasificó de acuerdo con los siguientes criterios: índices menores a 72 como zona de confort, entre 72 y 79 como un ambiente de estrés, de 80 a 89 como estrés moderado, y los valores superior a 90 como estrés grave (Wiersma, 1990).

4.3. Características y manejo de los animales experimentales

Se utilizaron 22 hembras bovinas cebú (*Bos indicus*) como donadoras de embriones, con las siguientes características: cinco a siete años de edad, condición corporal de tres en la escala de uno a cinco, donde uno corresponde a un animal emaciado y cinco a un animal obeso (Pullan, 1978), y sin becerro. Las donadoras se mantuvieron bajo las condiciones de manejo propias del agroecosistema, consistentes en alimentación a base de pastoreo en 300 ha sembradas con pasto estrella de África (*Cynodon*

plectostachyus K. Schum), estrella Santo Domingo (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst), Pangola (*Digitaria eriantha* Steudel) y Privilegio (*Megathyrsus máximus* Jacq), estando presentes algunos pastos nativos como el *Paspalum spp.* y *Axonopus spp.* Las vacas se sometieron a programas de desparasitación externa e interna cada 21 y 120 días, respectivamente, así como a vacunaciones contra derriengue, fiebre carbonosa, carbón sintomático, complejo respiratorio bovino y brucelosis.

4.4. Inducción a la ovulación múltiple e inseminación artificial

En el día cero se sincronizó el crecimiento folicular de cada una de las donadoras mediante la aplicación de un dispositivo CIDR® (1.9 g de P4; Lab. Pfizer), el cual se introdujo por vía vaginal y permaneció *in situ* por un periodo de 7 días. El mismo día de la introducción del dispositivo se aplicó 1 mL de ECP® (2 mg de cipionato de estradiol; Lab. Pfizer) vía intramuscular.

Tres días después de la introducción del CIDR se inició la aplicación de FSH (Folltropin®-V, 400 mg de NIH-FSH-P1 / 20 mL; Bioniche Animal Health Canada Inc.), a una dosis total de 200 mg por vaca, aplicados en forma decreciente distribuidos en cuatro días, con aplicaciones cada 12 h (40, 30, 20 y 10 mg en los días 1, 2, 3 y 4, respectivamente). En el último día de aplicación de la FSH se suministraron 40 y 30 mg a las 6 y 18 h, respectivamente, de Lutalyse® (dinoprost trometamina; Lab. Pfizer), con el propósito de inducir la lisis del cuerpo lúteo y desencadenar la ovulación. La

inseminación artificial se realizó con semen comercial de la raza Holstein a las 12 y 24 h de iniciado el estro (Orihuela *et al.*, 1988).

4.5. Recolección de embriones

Siete días después del primer servicio de inseminación artificial se realizó la recolección de los embriones. La vaca donadora se colocó en la manga de trabajo para evaluar la respuesta ovárica y estimar por palpación rectal el número de cuerpos lúteos presentes.

Una vez realizado el examen rectal de la donadora y constatada la presencia de cuerpos lúteos, el área perineal, los labios vulvares y la zona de anestesia epidural se lavaron y desinfectaron con una solución de Benzal® (cloruro de benzalconio al 0.12 %; Productos Hemobiológicos, México). Se inyectó anestesia epidural baja, utilizando Xylocaína® (clorhidrato de lidocaína monohidratada al 2 %; Lab. Astrazeneca, S.A. de C.V., México) y se realizó la recolección de embriones mediante el método no quirúrgico (Curtis, 1992).

Una vez obtenida la solución con los embriones extraídos de los cuernos uterinos, con ayuda de un filtro recolector de embriones con poros de 80 μ de diámetro, la solución fue colocado en cajas de Petri de 100 mm de diámetro, para proceder a la identificación de los embriones con ayuda de un microscopio estereoscópico, con aumento de 50-100 x. Posteriormente los embriones se colocaron en cajas de Petri de 50 mm para

evaluar su estadio de desarrollo (Lehn-Jensen, 1986) y clasificarlos de acuerdo a su calidad (Stringfellow y Seidel, 1998).

4.6. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron con el programa Statistica v7.0 (2006); se empleó la t de Student para observar si hubo diferencias estadísticas en el tratamiento durante la época de lluvias y nortes. Se analizaron diferencias en la producción de embriones, formación de cuerpos lúteos, así como en la humedad relativa, temperatura ambiental e índice de temperatura-humedad (Krepsky *et al.*, 2007).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Monitoreo meteorológico

Días antes del inicio del tratamiento ocurrió un fenómeno relevante en el área de estudio. El 17 de septiembre de 2010 se presentó el huracán Karl, clasificado como categoría 3 en la escala Saffir-Simpson, con vientos de 185 km h⁻¹ y una presión mínima central de 976 hPa (Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos, 2010). Los cambios en las variables climáticas causados por este evento pudieron alterar el confort del ganado bovino, ya que estos fenómenos repercuten en la temperatura corporal, aumentan el estrés y alteran la respuesta endócrina del ganado, y a su vez

afectan los resultados de los programas reproductivos (Villagómez *et al.*, 2000; Córdova *et al.*, 2010).

5.1.1. Temperatura ambiental

La temperatura ambiental en la época de lluvias fue mayor ($p < 0.05$) en todo el periodo experimental (25.1 ± 1.1 ; Cuadro 2) con respecto a la época de nortes (22.0 ± 1.9 °C). Se observó diferencia ($p < 0.05$) entre los valores máximos y mínimos durante ambas épocas (Figura 1). En la época de lluvias se registraron temperaturas mínimas inferiores a 20 °C y máximas superiores a 30 °C, mientras que en la de nortes fueron de 18 y 30 °C, respectivamente (Figura 2), lo cual pudo afectar negativamente la producción de embriones, ya que en las dos épocas se encontraron valores de 30 °C, catalogada como la temperatura máxima de confort para el ganado vacuno de razas tropicales (Kulicov y Rudnev, 1987).

Cuadro 2. Valores promedio por semana de temperatura ambiental presentados durante la producción *in vivo* de embriones, en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.

Semana	Temperatura ambiental (°C)	
	Época de lluvias	Época de nortes
1	27.1 ± 2.7^a	21.2 ± 4.1^b
2	25.0 ± 2.7^a	23.7 ± 3.8^b
3	24.1 ± 3.2^a	24.0 ± 2.9^a
4	24.3 ± 3.2^a	22.7 ± 3.3^b
5	24.6 ± 3.4^a	21.5 ± 2.9^b
6	25.3 ± 3.9^a	18.9 ± 4.5^b
Media	25.1 ± 1.1^a	22.0 ± 1.9^b

^{a,b}Valores con literales diferentes entre columnas presentan diferencia ($p < 0.05$).

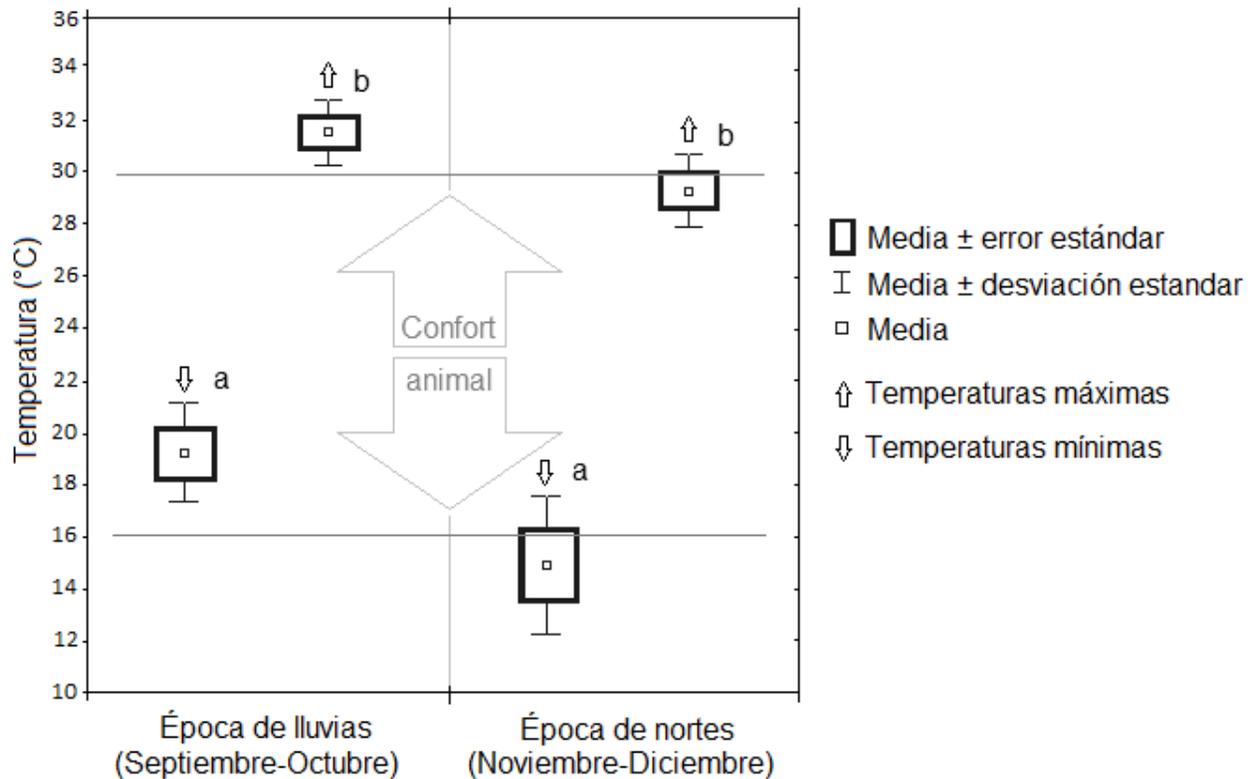


Figura 1. Valores máximos y mínimos de temperaturas ambiental presentados durante la producción *in vivo* de embriones bovinos F1, en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.

^{a,b}Valores con literales diferentes presentan diferencia ($p < 0.05$).

En la época de lluvias la temperatura descendió de 27.1 a 24.1 °C entre la primera y la tercera semana de estudio, pero esto fue más notorio entre la tercera y la sexta semana en la época de nortes cuando descendió de 24.0 a 18.9 °C (Figura 3). Young (1981) reportó que el descenso en la temperatura a menos de 16 °C fuera del rango de confort para el ganado bovino disminuye 30 % la ingesta de alimentos y aumenta de 30 a 70% el requerimiento energético, lo cual puede ocasionar pérdida en la condición corporal y disminuir la respuesta reproductiva de la vaca. En la época de nortes en la misma región del estado de Veracruz donde se realizó el estudio, el descenso en la temperatura ambiental disminuye la calidad del semen, la

concentración plasmática de testosterona y el comportamiento sexual en toros Criollo Lechero Tropical (Estrella, 2005).

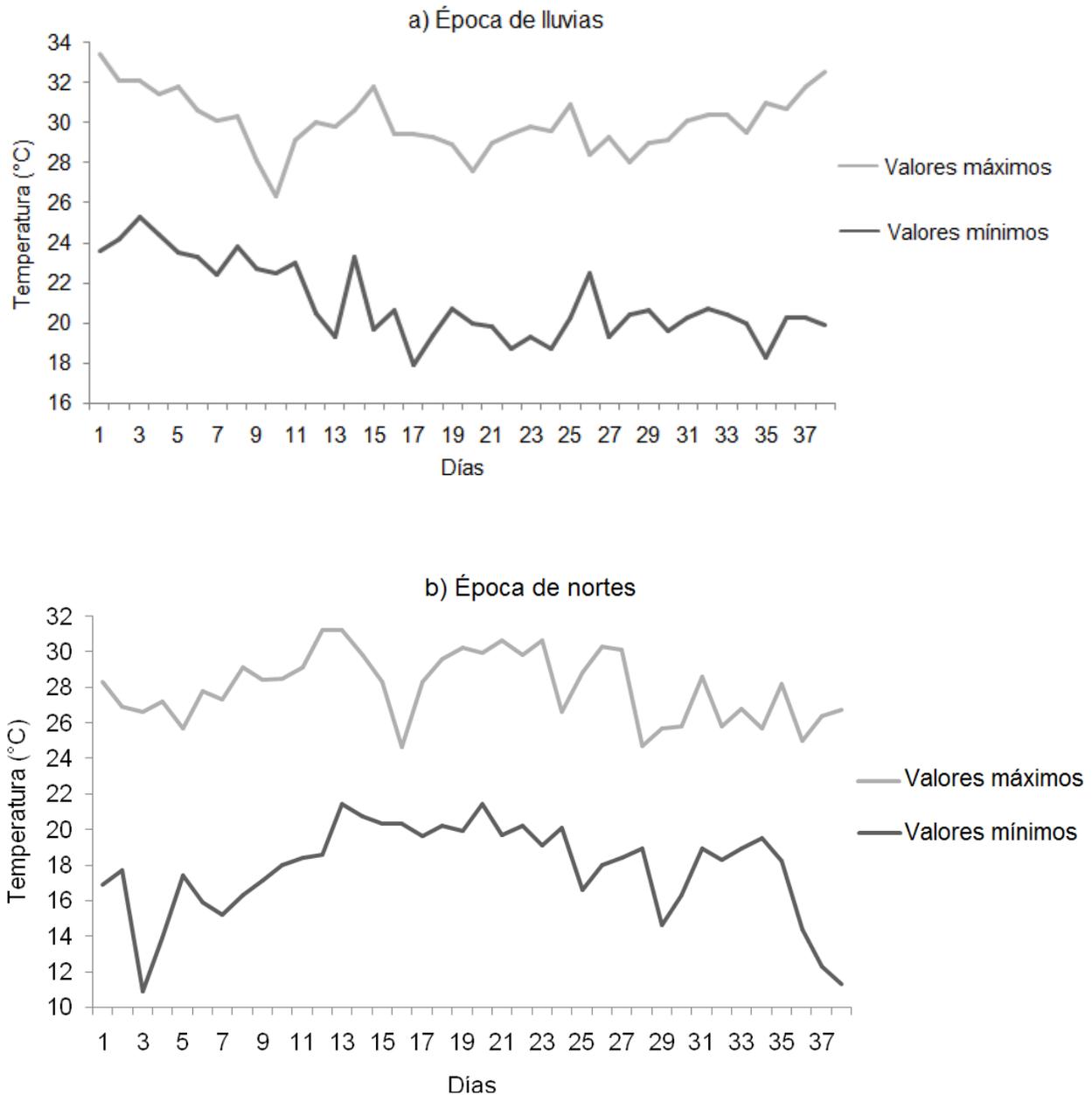


Figura 2. Valores máximos y mínimos diarios de temperatura ambiental en la época de lluvias (a) y nortes (b), durante la producción *in vivo* de embriones bovinos F1, en un agroecosistema tropical.

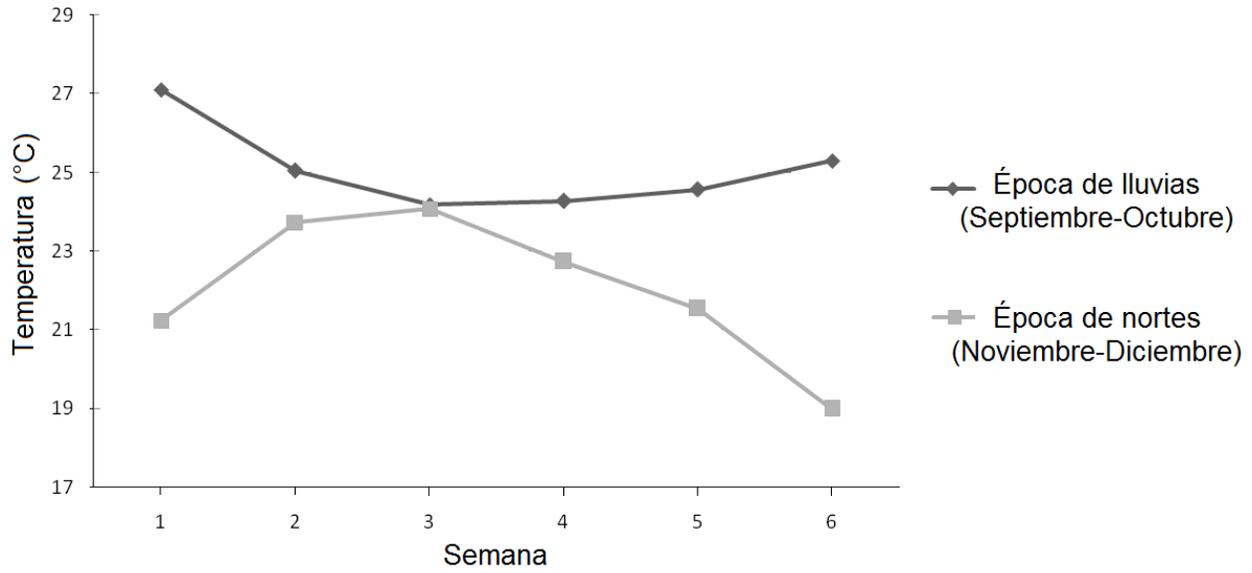


Figura 3. Valores promedio de temperatura por semana, registrados en la época de lluvias y nortes, durante la producción *in vivo* de embriones bovinos F1, en un agroecosistema tropical.

La temperatura en la época de lluvias fue mayor ($p < 0.05$) durante las primeras dos y últimas tres semanas con respecto a la época de nortes (Cuadro 2), con una variación de hasta 6 °C, lo cual causa alteraciones en las respuestas reproductivas del ganado bovino, ya que los estímulos ocasionados a las vacas en ambas épocas son diferentes (Córdova *et al.*, 2010). Estas diferencias de la temperatura pudieron influir en la respuesta a la producción *in vivo* de embriones bovinos, debido a que los incrementos en la temperatura ambiental aumentan la temperatura uterina, y cuando la temperatura vaginal asciende 0.5 °C en el día del celo o un día después ocasiona pérdidas embrionarias (Villagómez *et al.*, 2000; Henshall, 2004; Góngora y Hernández, 2010).

En la época de lluvias se presentaron temperaturas ambientales superiores y en la época de nortes inferiores al rango de confort para el ganado bovino (Figura 1), que ocasionan estrés a las vacas, las que responden liberando adrenocorticotropina e

inhibiendo el estradiol (E_2), lo cual interfiere en las ondas foliculares, interrumpe el desarrollo de los folículos y disminuye la respuesta de la ovulación múltiple (Hansen y Aréchiga, 1999). Cuando las vacas son sometidas a estrés por calor se reduce el número de ovocitos de 83.3 a 87.0 %, la tasa de fertilidad de 83.1 a 79.3 % y el desarrollo de los ovocitos que llegan a blastocisto de 52.3 a 41.3 % (Hansen *et al.*, 2001). En otros estudios se ha observado alteración en la función folicular y en la respuesta a la sincronización en programas reproductivos (Roth *et al.*, 2000), así como alteración en el confort animal y en los resultados reproductivos, presentándose tasas de gestación de 40% (Peralta *et al.*, 2010).

5.1.2. Porcentajes de humedad relativa

Durante el estudio no se encontró diferencia ($p>0.05$) en el porcentaje de humedad relativa entre la temporada de lluvias (75.1 ± 3.6 %) y la de nortes (71.1 ± 5.8 %; Cuadro 3). Sin embargo, los valores entre máximos y mínimos de humedad relativa en las dos épocas fueron diferentes ($p<0.05$; Figura 4).

Durante el estudio, en la época de lluvias la humedad relativa descendió de 80.9 a 70.1 %, y en la época de nortes aumentó de 61.7 a 78.3 % entre la primera y tercera semana, respectivamente (Figura 5). En la época de lluvias las mínimas y máximas de humedad relativa diaria variaron de 55 a 90 %, y en la época de nortes de 50 a 85 %, respectivamente (Figura 6). Estas variaciones en la humedad realativa, junto con los cambios de temperatura ambiental, son percibidos como un estímulo y alteran el metabolismo de las vacas al disminuir la conversión alimenticia entre 14 a 20 %, la

condición corporal y producción láctea, así como aumentan 43 % los niveles de cortisol en plasma, y con esto se disminuye la respuesta reproductiva (Arias *et al.*, 2008).

Cuadro 3. Valores promedio por semana de humedad relativa presentados durante la producción *in vivo* de embriones, en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.

Semana	Humedad relativa (%)	
	Época de lluvias	Época de nortes
1	80.9 ± 9.2 ^a	61.7 ± 16.5 ^b
2	76.9 ± 11.3 ^a	74.9 ± 11.1 ^a
3	70.1 ± 11.2 ^a	78.3 ± 9.8 ^b
4	74.0 ± 11.3 ^a	70.4 ± 13.8 ^a
5	74.6 ± 12.1 ^a	73.3 ± 10.3 ^a
6	73.8 ± 13.2 ^a	67.8 ± 14.0 ^b
Media	75.1 ± 3.6 ^a	71.1 ± 5.8 ^a

^{a,b}Valores con literales diferentes entre columnas presentan diferencia (p<0.05).

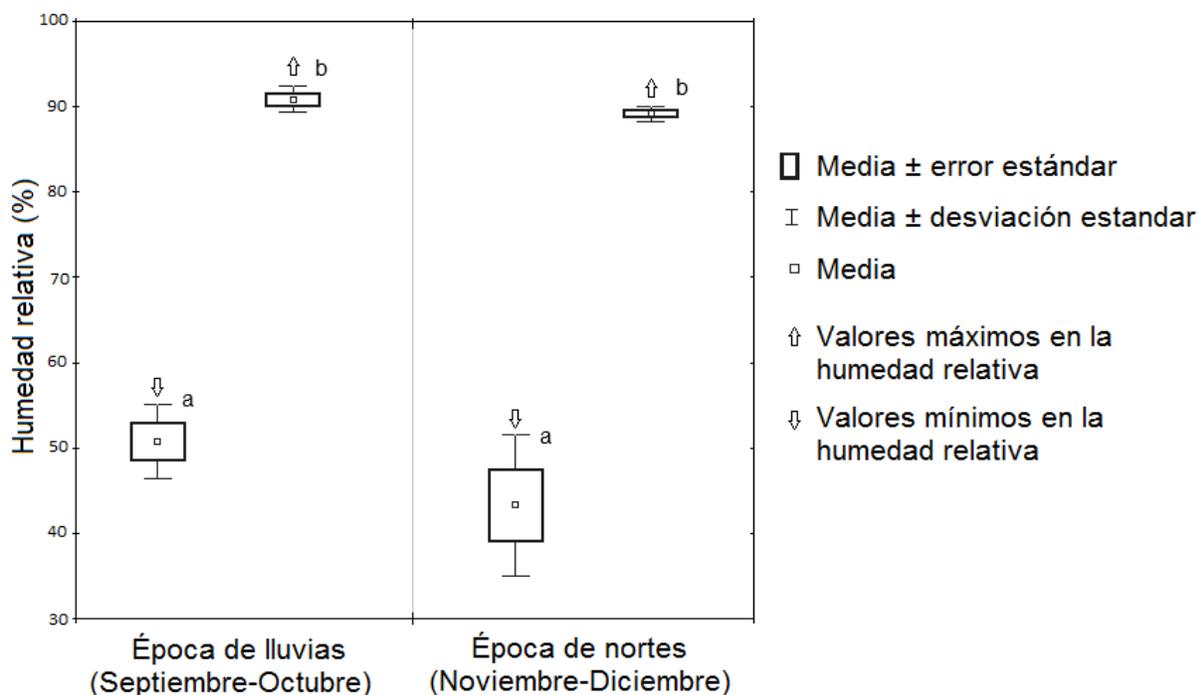


Figura 4. Valores máximos y mínimos de humedad relativa, registrados durante la producción *in vivo* de embriones bovinos F1 en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.

^{a,b}Valores con literales diferentes indican diferencia (p<0.05).

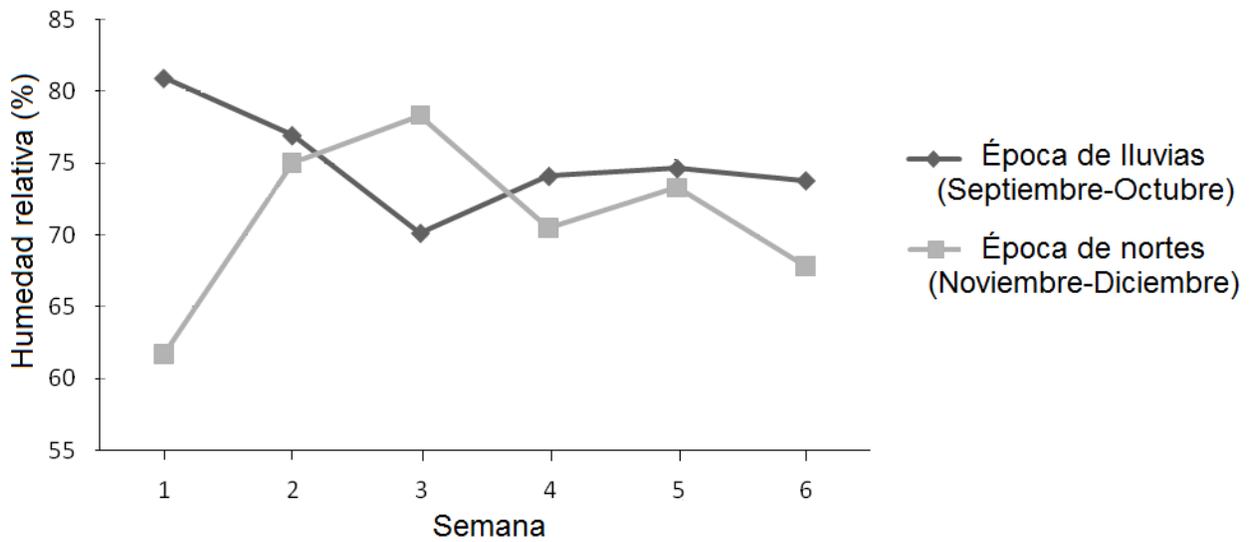
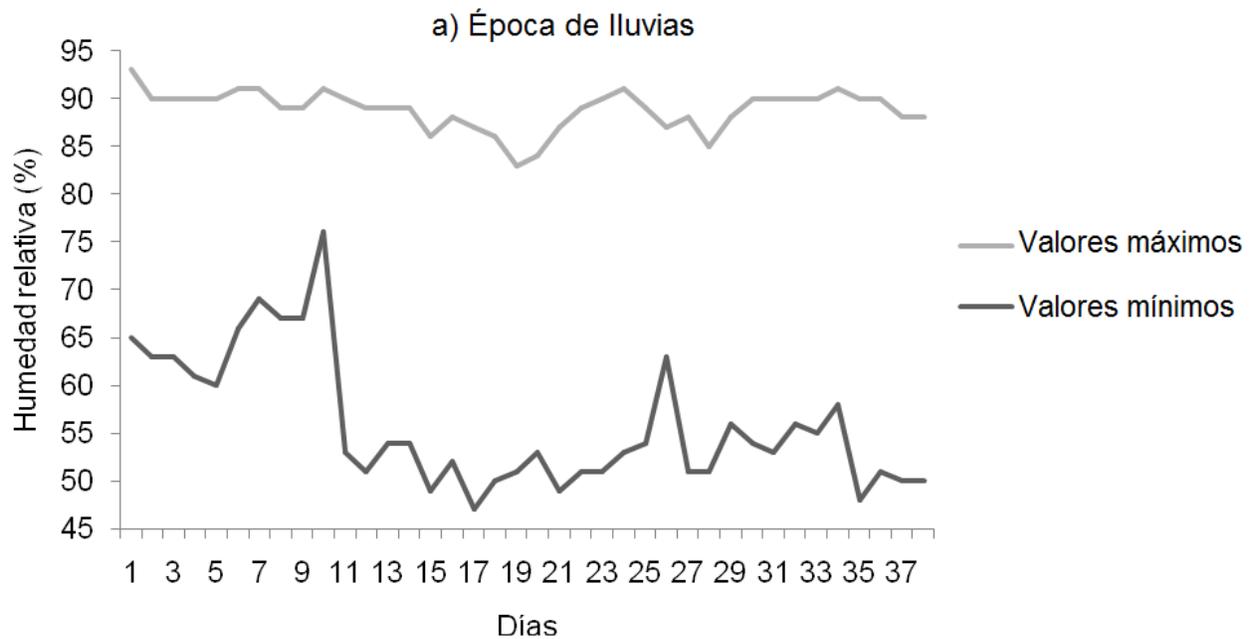


Figura 5. Valores medios de humedad relativa registrados en la época de lluvias y nortes, durante la producción *in vivo* de embriones bovinos F1, en un agroecosistema tropical.



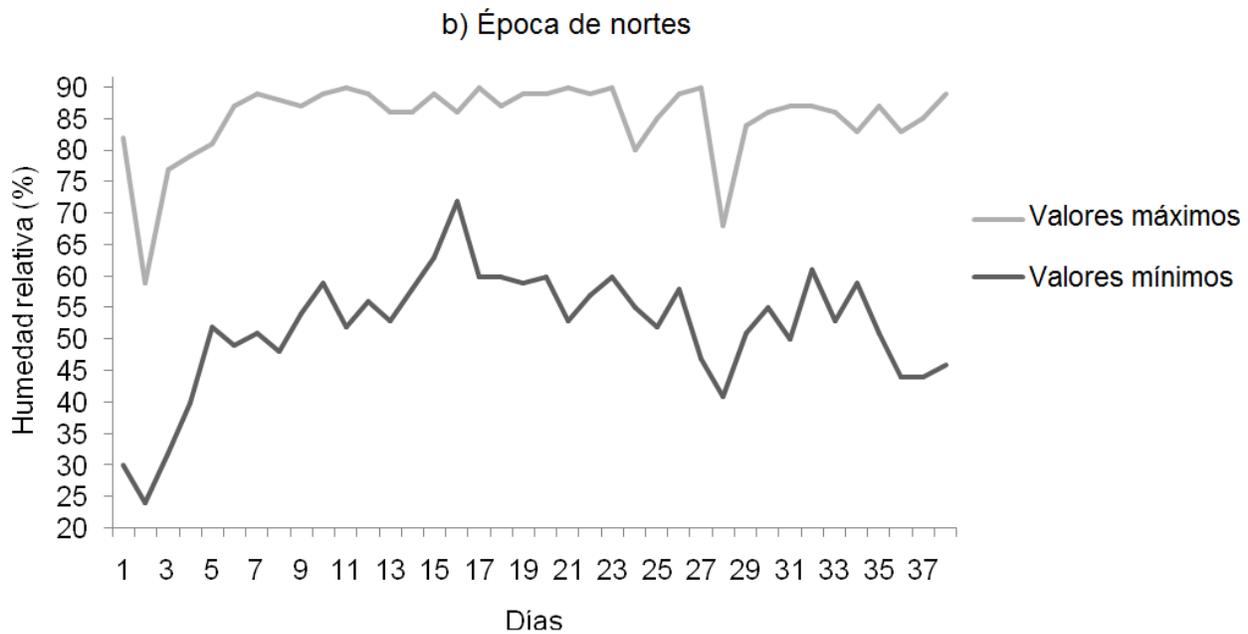


Figura 6. Valores máximos y mínimos diarios de humedad relativa en la época de lluvias (a) y nortes (b), durante la producción *in vivo* de embriones bovinos F1, en un agroecosistema tropical.

5.1.3. Índice de temperatura-humedad

El índice de temperatura-humedad presentado durante el estudio en la época de lluvias (75.7 ± 2.2) fue mayor ($p < 0.05$) que en la de nortes (71.4 ± 3.0); en la época de lluvias varió significativamente entre sus mínimas y máximas de 67 a 84, y en la época de nortes de 62 a 80 (Figura 7), respectivamente. Los índices máximos encontrados durante el estudio en ambas épocas (Cuadro 4) fueron superiores al rango de confort (>72), y causan estrés en el ganado bovino (Wiersma, 1990), inhiben la liberación de LH, FSH (Gilad *et al.*, 1993; Dobson y Smith, 1995), así como E_2 , afectando la respuesta de la ovulación múltiple (Hansen *et al.*, 2001); sin embargo fueron similares a los encontrados por otros autores dentro de la misma región de Veracruz, México (Hernández *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2011).

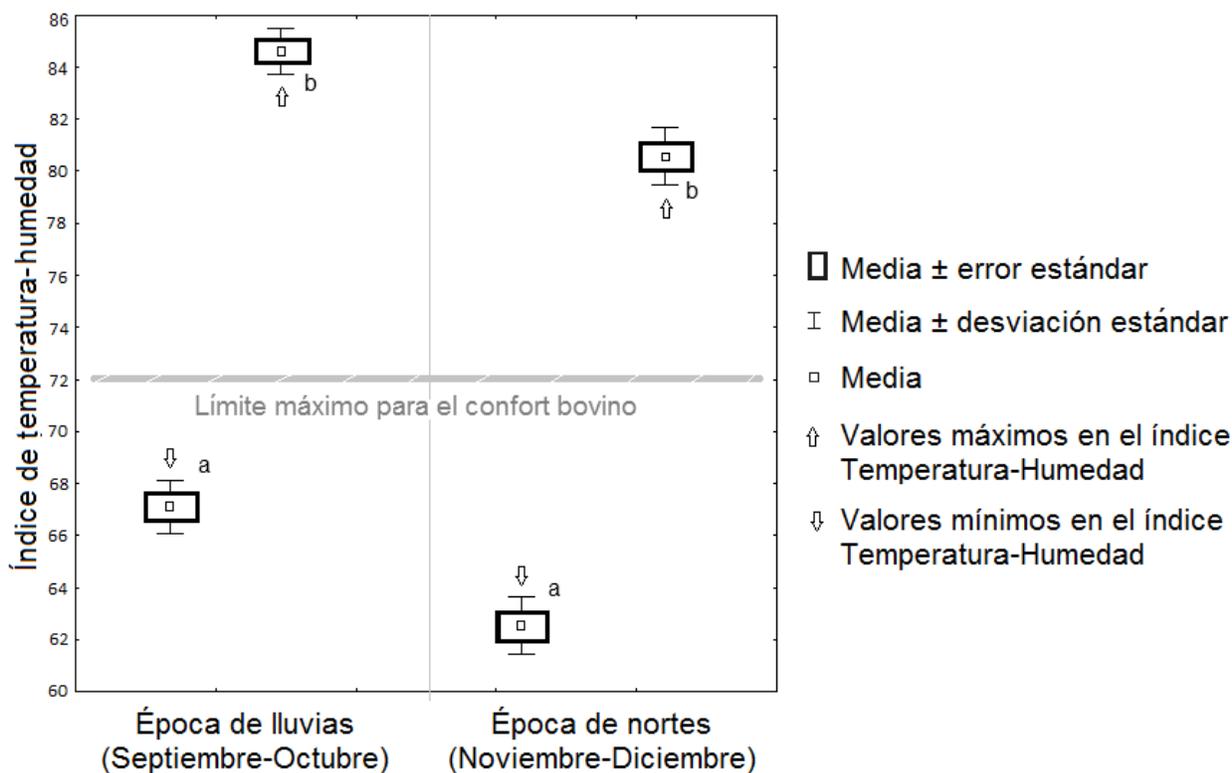


Figura 7. Valores máximos y mínimos del índice de temperatura-humedad presentados durante la producción *in vivo* de embriones bovinos F1, en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.
^{a,b}Valores con literales diferentes presentan diferencia ($p < 0.05$).

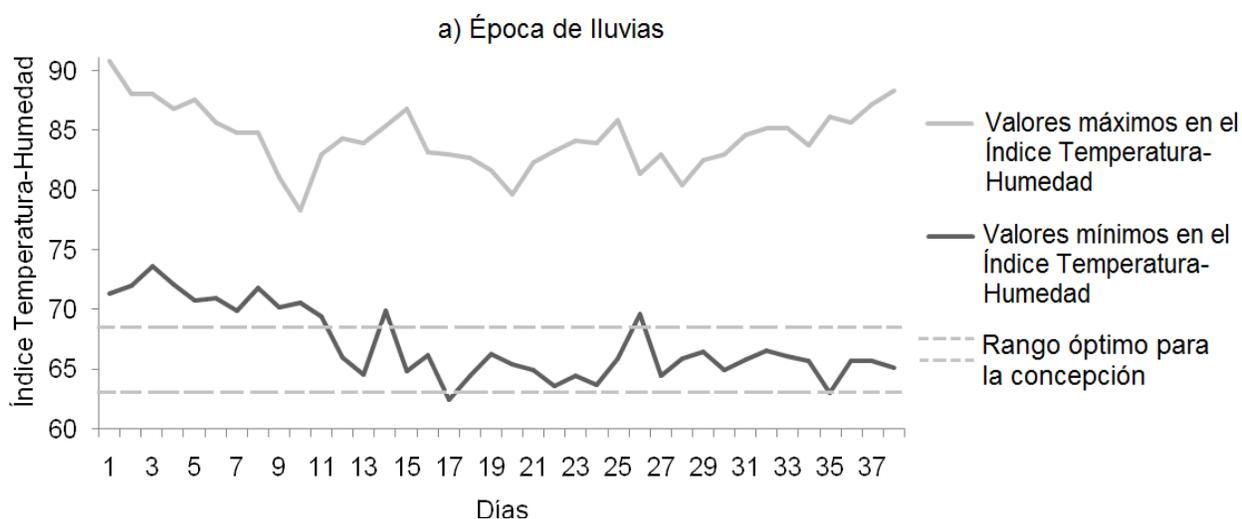
Durante el tratamiento en las dos épocas, se presentaron temperaturas superiores a 30 °C junto con una humedad relativa de 60 %, equivalente a un índice de temperatura-humedad de 80, valor superior a los niveles de confort para el ganado bovino, lo cual pudo afectar el programa reproductivo del estudio, debido a que a una temperatura de 30 °C, con humedad relativa sobre 60 % y un índice de temperatura-humedad de 80 se presenta una reducción de 47 % en la fertilidad de las vacas (Mansilla, 1996), y un descenso de la fertilidad de 30 a 23 % en vacas expuestas a temperaturas superiores a 30 °C, humedad relativa superior a 78 % y un índice de temperatura-humedad de 82 (García-Ispuerto *et al.*, 2007).

Cuadro 4. Valores mínimos (↓) y máximos (↑) del índice de temperatura-humedad presentados durante la producción *in vivo* de embriones bovinos F1, en la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.

Semana	Índice de temperatura-humedad			
	Época de lluvias		Época de nortes	
	↓	↑	↓	↑
1	71.5 ± 1.2 ^a	87.4 ± 1.9 ^b	59.3 ± 3.4 ^a	78.2 ± 2.1 ^b
2	68.9 ± 2.6 ^a	82.9 ± 2.5 ^b	63.8 ± 2.3 ^a	83.5 ± 1.9 ^b
3	64.9 ± 1.3 ^a	82.3 ± 2.2 ^b	65.5 ± 0.9 ^a	82.2 ± 3.6 ^b
4	65.3 ± 2.1 ^a	83.1 ± 1.8 ^b	63.7 ± 1.6 ^a	81.6 ± 4.6 ^b
5	65.5 ± 1.2 ^a	84.3 ± 1.3 ^b	62.5 ± 2.4 ^a	78.3 ± 2.2 ^b
6	65.5 ± 0.3 ^a	87.1 ± 1.3 ^b	55.7 ± 77.2 ^a	77.2 ± 1.8 ^b
Media	67.1 ± 3.0 ^a	84.3 ± 2.6 ^b	62.4 ± 3.5 ^a	80.5 ± 3.6 ^b

^{a,b}Valores con literales diferentes entre columnas de la misma época presentan diferencia ($p < 0.05$).

Durante las dos épocas se observaron índices de temperatura-humedad superiores a 75 (Figura 8), los cuales pudieron influir en los resultados obtenidos al disminuir la eficiencia en el programa reproductivo, debido a que los índices óptimos para la concepción se encuentran entre 63 y 68, y estas deficiencias en la concepción disminuyen la producción de embriones (Amundson *et al.*, 2006).



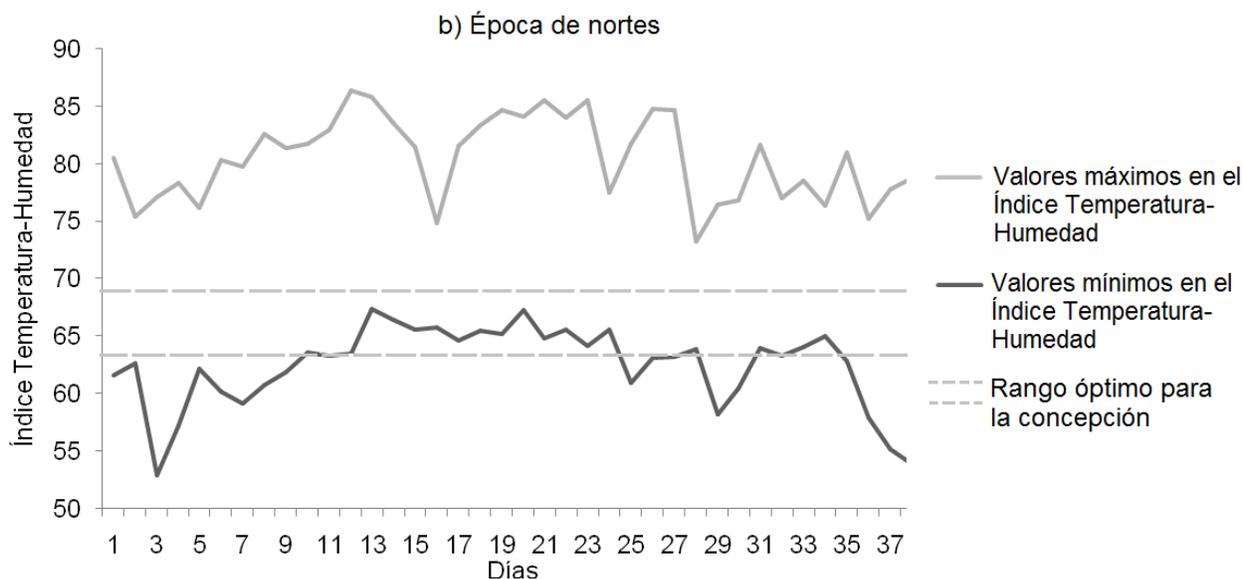


Figura 8. Valores mínimos y máximos diarios del índice temperatura-humedad presentados durante la producción *in vivo* de embriones bovinos F1, en la época de lluvias (a) y nortes (b), en un agroecosistema tropical.

5.2. Embriones y cuerpos lúteos

El número de embriones obtenido fue mayor ($p < 0.05$) en la época de lluvias (1.0 ± 0.3) con respecto a la de nortes (0.4 ± 0.2 ; Cuadro 5); sin embargo, estos dos valores fueron menores a los 6 y 10 embriones transferibles por lavado, considerados como ideales (Barros y Nogueira, 2001; Herradón *et al.*, 2007). Esta baja producción puede deberse a las variaciones de la temperatura y humedad relativa presentadas en las dos épocas, debido a que en el estudio se observaron índices de temperatura-humedad arriba de 80, y con índices superiores a los 69 se presentan pérdidas embrionarias del 12 % (García-Ispierto *et al.*, 2006). Así mismo, durante el estudio en la época de lluvias y nortes este índice diario varió de 70 a 85 y de 65 a 80, respectivamente (Figura 8), lo cual se sugiere que afectó la producción de embriones, ya que el aumento del índice de 72 a 80 disminuye la producción de seis a cuatro embriones, y la proporción

de embriones vivos disminuye de 59.2 ± 37.4 a 38.2 ± 38.5 % para ambientes con índices menores a 74 y superiores a 79, respectivamente (Benyei *et al.*, 2003).

Cuadro 5. Calidad y cantidad de embriones recolectados durante la producción *in vivo* de embriones bovinos F1, en un agroecosistema tropical, durante la época de lluvias y nortes.

Época	Calidad de embriones			Media
	Excelente	Regular	Pobre	
Lluvias	5	4	2	1.0 ± 0.3^a
Nortes	0	1	3	0.4 ± 0.2^b

^{a,b}Valores con literales diferentes presentan diferencia ($p < 0.05$).

El promedio de embriones obtenidos en ambas épocas fue menor al ideal para esta biotecnología, lo cual pudo deberse a las temperaturas menores y mayores de 19 y 32 °C presentadas en la época de lluvias, y de 14 y 29 °C en la época de nortes, ya que tanto las altas temperaturas observadas en la época de lluvias y las bajas en la época de nortes están fuera del rango de confort para el ganado bovino (Figura 1), lo cual tienen efectos negativos en la función reproductiva (Plasse *et al.*, 1970; Plasse, 1994; Arias *et al.*, 2008). Estas variaciones ambientales son percibidas por el sistema nervioso y alteran la función endócrina al inhibir la liberación de gonadotropinas (Gilad *et al.*, 1993; Dobson y Smith, 1995), al igual que modifican la respuesta de ovulación y disminuyen la respuesta a la FSH y LH, provocando luteinización prematura de las células foliculares y producción de óvulos con baja fertilidad (Roth *et al.*, 2000; Bridges *et al.*, 2005).

La formación de cuerpos lúteos y el número de embriones producidos fue mayor ($p < 0.05$) en la época de lluvias (5.1 ± 4.8 y 1.0 ± 0.3 , respectivamente) con respecto a la de nortes (2.3 ± 2.5 y 0.4 ± 0.2 , respectivamente), probablemente debido a que en esta época se observó mayor variación en la humedad relativa. Resultados similares fueron reportados por Benyei *et al.* (2003), quienes con una humedad relativa de 79 % encontraron una disminución del 46 % en la formación de cuerpos lúteos y de 28 % en la producción de embriones, con respecto a la épocas con una humedad relativa de 72 %.

En la época de lluvias se encontró una diferencia ($p < 0.05$) entre la formación de cuerpos lúteos (5.1 ± 4.8) con respecto a los embriones y óvulos no fertilizados (2.1 ± 2.7), mientras que fue similar en la época de nortes (2.3 ± 2.5 y 1.3 ± 1.8 , respectivamente; $p > 0.05$; Figura 9). La existencia de un mayor número de cuerpos lúteos con respecto a embriones y óvulos no fertilizados indica que no hubo una eficiente respuesta ovulatoria y que existió una alteración en el desarrollo folicular, posiblemente por el efecto de las variaciones ambientales observadas en el estudio, ya que con las variaciones de la temperatura ambiental y humedad relativa se presentan alteraciones endócrinas como la supresión de la liberación de GnRH alterando la respuesta ovárica (Gilad *et al.*, 1993). Los índices máximos de temperatura-humedad obtenidos durante el estudio en ambas épocas se encontraron fuera del rango de confort para el ganado bovino (Figura 8), lo cual puede ser la causa de la diferencia significativa entre la formación de cuerpos lúteos y la producción de embriones (Benyei *et al.*, 2003).

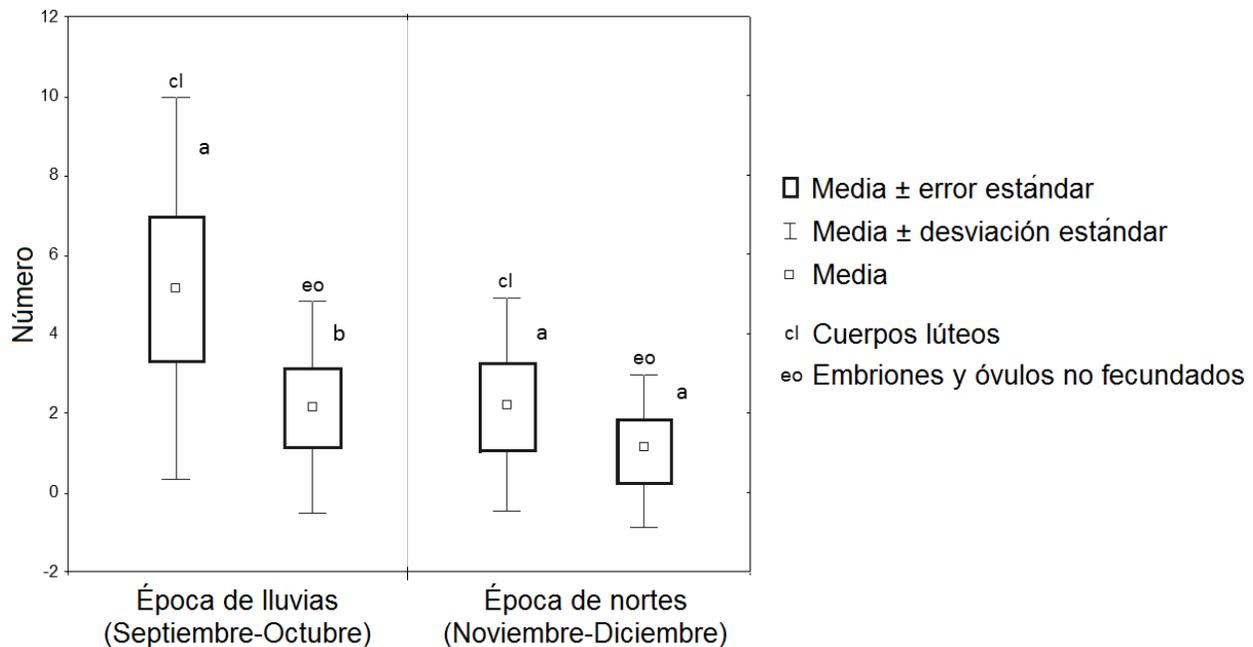


Figura 9. Embriones y óvulos no fecundados en comparación con los cuerpos lúteos obtenidos, durante la época de lluvias y nortes, en un agroecosistema tropical.

^{a,b}Valores con literales diferentes dentro de las mismas épocas presentan diferencia ($p < 0.05$).

La baja respuesta en la formación de cuerpos lúteos y producción de embriones pudo deberse a las variaciones diarias del índice de temperatura-humedad de 70 a 85 y de 65 a 80 en la época de lluvias y nortes, respectivamente (Figura 8), similar a lo reportado por Benyei *et al.* (2003), quienes con índices de 70.7 ± 1.4 y 73.9 ± 0.7 obtuvieron un promedio de 9.8 ± 4.4 y 9.7 ± 4.5 cuerpos lúteos, pero cuando este índice aumentó a 79.7 ± 4.0 la respuesta de ovulación múltiple fue inferior (5.2 ± 2.5 ; $p < 0.01$).

Durante el estudio, en ambas épocas del año se presentaron embriones de mala calidad (Cuadro 5), probablemente debido a las diferencias ($p < 0.05$) entre los valores mínimos y máximos del índice de temperatura-humedad fuera del rango de confort para

el ganado bovino (Cuadro 4), lo que reduce la calidad del embrión (Benyei *et al.*, 2003). Se ha observado que las variaciones de este índice influyen sobre el organismo del animal, de tal forma que estos estímulos ambientales son percibidos por los receptores cutáneos y transmitidos al sistema nervioso central, lo cual como respuesta altera el sistema hipotálamo-hipófisis y disminuye la liberación de FSH y LH, hormonas que intervienen en el ciclo estrual, la ovulación y la fertilización de los óvulos (Carmona, 1980; Villagómez *et al.*, 2000).

Aunque no fue objeto de estudio, se realizaron observaciones de la velocidad del viento y precipitación pluvial en ambas épocas. En el momento de la detección de signos de estro durante la época de nortes se presentó una máxima en la velocidad del viento y precipitación pluvial de 66 km h⁻¹ y 24 mm, respectivamente así como una mínima en la temperatura ambiental de 10 °C, mientras que en la época de lluvias los valores fueron de 59 km h⁻¹, 349 mm y 20 °C, respectivamente. Estos eventos inhibieron el comportamiento sexual de las vacas, debido a que estas condiciones probablemente ocasionaron estrés al ganado (Estrella, 2005; Córdova *et al.*, 2010).

6. CONCLUSIONES

La temperatura ambiental y la humedad relativa, que se presentaron durante la época de lluvias y de nortes, en un agroecosistema tropical cálido subhúmedo, de Veracruz, México, afectaron la respuesta de la producción *in vivo* de embriones bovinos F1.

La temperatura ambiental, la humedad relativa y el índice de temperatura-humedad, durante la época de lluvias y de nortes en un agroecosistema tropical de Veracruz, presentaron mínimas y máximas fuera de los rangos de confort para el ganado bovino.

La producción *in vivo* de embriones bovinos, durante la época de lluvias y de nortes en un agroecosistema tropical de Veracruz, México, fue menor a seis embriones viables, catalogado como el mínimo ideal para esta biotecnología.

7. RECOMENDACIONES

Al implementar los protocolos de producción *in vivo* de embriones bovinos en los agroecosistemas tropicales cálidos subhúmedos de Veracruz, se recomienda tomar en cuenta los efectos de la humedad relativa y la temperatura ambiental presentes durante la época de lluvias y nortes, ya que en estas dos épocas se pueden obtener resultados negativos fuera de los rangos deseados para esta biotecnología y en consecuencia ocasionar pérdidas al productor.

8. LITERATURA CITADA

Al-Katanani, Y. M., P. López F., and P. J. Hansen. 2002. Effect of season and exposure to heat stress on oocyte competence in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 85: 390-396.

Alonso D., M. A., E. Castillo G., H. Basurto C., J. Jarillo R., y B. Valles de la M. 2007. Respuesta productiva de una pastura de gramas nativas bajo pastoreo rotacional

- intensivo en clima cálido húmedo. *Avances en Investigación Agropecuaria* 11: 35-55.
- Altieri M., A., y C. I. Nicholls. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas* 16: 3-12.
- Amundson, J. L., T. L. Mader, R. J. Rasby, and Q. S. Hu. 2006. Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle. *Journal of Animal Science* 84: 3415-3420.
- Arellano, S., J. Martínez, E. Romero, F. Briones, M. Domínguez, y F. de la Garza. 2006. Factores genético-ambientales que afectan el intervalo entre partos y días a primer parto en ganado de doble propósito en el norte de Veracruz. *Avances de Investigación Agropecuaria* 10: 43-53.
- Arias R., A., T. L. Mader, y P. C. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria* 40: 7-22.
- Barros, C. M., and M. F. G. Nogueira. 2001. Embryo transfer in *Bos indicus* cattle. *Theriogenology* 56: 1483-1496.
- Benyei, B., A. Gaspardy, and S. Cseh. 2003. Effect of the El Niño phenomenon on the ovarian responsiveness and embryo production in donor cows. *Acta Veterinaria Hungarica* 51: 209-218.
- Bertalanffy L., V. 1976. *Teoría General de los Sistemas*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. pp: 1-24.
- Bo A., G., y R. J. Mapletoft. 1999. Control del desarrollo folicular y su aplicación en programas de superovulación de donantes de embriones. *Taurus* 1: 14-27.
- Bolívar A., P., y J. G. Maldonado E. 2008. Análisis de costos de esquemas de transferencia de embriones bovinos utilizados en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 21: 351-364.

- Bridges, P. J., M. A. Brusie, and J. E. Fortune. 2005. Elevated temperature (heat stress) *in vitro* reduces androstenedione and estradiol and increases progesterone secretion by follicular cells from bovine dominant follicles. *Domestic Animal Endocrinology* 29: 508-522.
- Brosh, A., Y. Aharoni, A. A. Degen., D. Wright, and B. A. Young. 1998. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. *Journal of Animal Science* 76: 2671-2677.
- Brunett, P. L., C. González E., y L. A. García H. 2005. Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores. *Livestock Research for Rural Development* 17: 78.
- Bustillo G., L., J. P. Martínez D., F. Osorio A., S. Salazar L., I. González A., y F. Gallardo L. 2009. Grado de sustentabilidad del desarrollo rural en productores de subsistencia, transicionales y empresariales, bajo un enfoque autopoietico. *Revista Científica* 19: 650-658.
- Cabrera, P., A. Fernández, P. Bastidas, E. Peroso, M. Molina, A. Bethencourt, I. Vivas, Y. Reyes, y T. Díaz. 2008. Efecto de la vitrificación sobre la viabilidad morfológica de embriones murinos (*Mus musculus*). *Zootecnia Tropical* 26: 27-34.
- Carmona M., M. A. 1980. Adaptación genético ambiental al trópico húmedo *en Bos taurus, Bos indicus* y sus cruza. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 149 p.
- Candelaria M., B., O. Ruiz R., F. Gallardo L., P. Pérez H., Á. Martínez B., y L. Vargas V. 2011. Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 999-1010.
- Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos. <http://www.nhc.noaa.gov/> (Consulta: noviembre, 2010).

- Chalate M., H., F. Gallardo L., P. Pérez H., F. P. Lang O., E. Ortega J., y J. Vilaboa A. 2010. Características del sistema de producción bovinos de doble propósito en el estado de Morelos, México. *Zootecnia Tropical* 28: 329-339.
- Chiavenato, I. 1997. Teoría de sistemas *In: Introducción a la Teoría General de la Administración*. 4ª ed. McGraw-Hill. pp: 725-761.
- Colazo M., G., y R. J. Mapletoft. 2007. Estado actual y aplicaciones de la transferencia de embriones en bovinos. *Ciencia Veterinaria* 9: 20-37.
- Collier, R. J., and R. B. Zimbelman. 2007. Heat stress effects on cattle: what we know and what we don't know. 22nd Annual Southwest Nutrition and Management Conference Proceedings. Tempe, AZ, USA. 76-83.
- Conway, G. R. 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24: 95-117.
- Córdova I., A., M. Murillo, L. Aída, y H. Castillo J. 2010. Efecto de factores climáticos sobre la conducta reproductiva bovina en los trópicos. *Revista Electrónica Veterinaria* 11: 1-12.
- Costanza, R., B. S. Low, E. Ostrom, and J. Wilson. 2001. *Institutions, ecosystems, and sustainability*. 1sted. CRC Press. 5 p.
- Cruz, G., y C. Saravia. 2008. Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay. *Agrociencia* 12: 56-60.
- Curtis, J. L. 1992. *Cattle embryo transfer procedure*. Ed. Academic Press, Inc., California. 131 p.
- De Rensis, F., and R. J. Scaramuzzi. 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow-a review. *Theriogenology* 60: 1139–1151.
- Díaz P., G. 2006. Regionalización edafoclimática y fisiográfica del trópico subhúmedo de Veracruz. Foro: Estrategias para el Manejo Sustentable del Trópico Subhúmedo en Veracruz. *AgroCentro Siglo XXI*. Veracruz, México. pp: 3-5.

- Dobson, H., and R. F. Smith. 1995. Stress and reproduction in farm animals. *Journal of Reproduction and Fertility* 49: 451-61.
- Dunlap, S. E., and C. K. Vincent. 1971. Influence of postbreeding thermal stress on conception rate in beef cattle. *Journal of Animal Science* 32: 1216-1218.
- Echeverry Z., J., V. E. Salazar R., y D. Múnera M. 2006. El cruzamiento como estrategia para mejorar la rentabilidad de hatos lecheros. *Lasallista* 3: 48-52.
- Escalante S., R. I., y H. Catalán. 2008. Situación actual del sector agropecuario en México: Perspectivas y retos. *Revista Economía Informa* 350: 7-25.
- Estrella G., A. G. 2005. Aptitud reproductiva de toros de la raza Criollo Lechero Tropical. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Veracruz, México. 163 p.
- Faden, R., and T. Beauchamp. 1986. *A history and theory of informed consent*. New York, Oxford, Oxford University Press. 237 p.
- FAO. 1997. Zonificación agro-ecológica: guía general. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación 73: 91.
- Farin, P. W., and C. E. Farin. 1995. Transfer of bovine embryos produced *in vivo* or *in vitro*: survival and fetal development. *Biology of Reproduction* 52: 676-682.
- Farin, P. W., B. D. Slenning, and J. H. Britt. 1999. Estimates of pregnancy outcomes based on selection of bovine embryos produced *in vivo* or *in vitro*. *Theriogenology* 52: 659-670.
- Franco L., J., C. Bedia S., H. Barrera E., L. G. Abarca A., T. Corro F., and H. Vázquez L. 2010. Biological and Ecological Aspects Regarding *Cynoscion nothus* Holbrook, 1855 (Perciforms: Sciaenidae). *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology* 5: 66-75.
- Frank, K. L., T. L. Mader, J. A. Harrington Jr., and G. L. Hahn. 2001. Potential climate change effects on warm-season livestock productions in the Great Plains.

- Journal series. Agriculture Research Division, University of Nebraska, Omaha. 15 p.
- García C., M. 2003. Perspectivas de la ganadería tropical de México ante la globalización. Memoria del XXVII Congreso Nacional de Buiatría. Villahermosa, Tabasco. México. pp: 172-182.
- García-Ispuerto, I., López-Gatius, F., Santolaria, P., Yániz, J.L., Nogareda, C., López-Béjar, M., De Rensis, F. 2006. Relationship between heat stress during the peri-implantation period and early fetal loss in dairy cattle. *Theriogenology*. 65: 799-807.
- García-Ispuerto, I., López-Gatius, F., Bech-Sabat, G., Santolaria, P., Yániz, J.L., Nogareda, C., De Rensis, F., López-Béjar, M. 2007. Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain. *Theriogenology*. 67:1379-1385.
- Gilad, E., R. Meidan., A. Berman, Y. Graber, and D. Wolfenson. 1993. Effect of heat stress on tonic and GnRH-induced gonadotrophin secretion in relation to concentration of estradiol in plasma of cyclic cows. *Journal of Reproduction and Fertility* 99: 315-321.
- Gjorret, O. J., M. H. Knijn, J. S. Dieleman, B. Avery, L. I. Larsson, and M. P. Hytte. 2003. Chronology of apoptosis in bovine embryos produced in vivo and *in vitro*. *Biology of Reproduction* 69: 1193–1200.
- Góngora, A., y A. Hernández. 2010. La reproducción de la vaca se afecta por las altas temperaturas ambientales. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica* 13: 163-173.
- González C., F., C. M. Becerril P., G. Torres H., y P. Díaz R. 2009. Garrapatas que infestan regiones corporales del bovino criollo lechero tropical en Veracruz, México. *Agrociencia* 43: 11-19.
- González, S., C. Rodríguez U., M. A. Goicochea L., J. Madrid B. y N. González V. D. 2006. Crecimiento pre-destete en hembras bovinas doble propósito. *Revista Científica* 16: 288-296.

- González V., H., J. Magofke C., y C. Mella. 2005. Productividad, consumo y eficiencia biológica en vacas Frisón Neozelandés y F1 (Jersey-Frisón Neozelandés) Paridas a fines de invierno en la X región, Chile. Archivos de Medicina Veterinaria 37: 37-47.
- Greiner, S. P. 2002. Crossbreeding beef cattle. Publication 400-805, Virginia Cooperative Extension. Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, USA. <http://pubs.ext.vt.edu/400/400-805/400-805.html> (Consulta: febrero, 2011).
- Gutiérrez A., J. C., R. Palomares N., J. Sandoval M., A. De Ondíz S., G. Portillo M., y E. Soto B. 2005. Uso del protocolo ovsynch en el control del anestro postparto en vacas mestizas de doble propósito. Revista Científica 15: 7-13.
- Hafez E., S. E. 2000. Reproduction in farm animals. 6ª ed. Ed. Lea & Febiger. pp: 321-322.
- Hansen, P. J., and C. F. Aréchiga. 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. Journal of Animal Science 82: 36-50.
- Hansen, P. J., M. Drost, R. M. Rivera, P. Lopes F. F., Y. M. Al-Katanani, C. E. Krininger, and C. C. Chase. 2001. Adverse impact of heat stress on embryo production: causes and strategies for mitigation. Theriogenology 55: 91-103.
- Hansen, P. J. 2002. Embryonic mortality in cattle from the embryo's perspective. Journal of Animal Science 80: 33-44.
- Hansen, P. J. 2009. Effects of heat stress on mammalian reproduction. Philosophical Transaction of the Royal Society 364: 3341-3350.
- Harrington, L. 1996. Diversity by design: conserving biological diversity through more productive and sustainable agroecosystems. *In*: Biodiversity and Sustainable Agriculture Workshop. August 14-17. Swedish Scientific Council on Biological Diversity. Ekenas, Sweden.

- Henshall, J. M. 2004. A genetic analysis of parasite resistant traits in a tropically adapted line of *Bos taurus*. Australian Journal of Agricultural Research 55: 1109-1116.
- Hernández R., E., V. M. Segura C., J. C. Segura C., y M. M. Osorio A. 2000. Intervalo entre partos, duración de lactancia y producción de leche en un hato de doble propósito en Yucatán, México. Agrocienca 34: 699-705.
- Hernández, A., P. Cervantes, V. M. Salinas, R. García, A. Tejeda, F. Gallardo, y J. L. Álvarez. 2007. Respuesta al estrés por calor en la vaca criollo lechero tropical bajo un sistema de doble propósito en México. Revista de Salud Animal 29: 85-90.
- Hernández, A., B. Domínguez, P. Cervantes, S. Muñoz-Melgarejo, S. Salazar L., and A. Tejeda-Martínez. 2011. Temperature-humidity index (THI) 1917-2008 and future scenarios of livestock comfort in Veracruz, México. Atmósfera 24: 89-102.
- Herradón, P. G., L. A. Quintela, J. J. Becerra, S. Ruibal, y M. Fernández. 2007. Fecundación *in vitro*: alternativa para la mejora genética en bovinos. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 15: 33-40.
- Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, D. Xiaosu, K. Maskell, and C. A. Johnson. 2001. Climate Change 2001. The scientific basis. Contribution of working group to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp: 92-96.
- Ingraham, R. H., D. D. Gillette, And W. D. Wagner. 1974. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Holstein cows in subtropical climate. Journal of Dairy Science 57: 476.
- Karl, T. R., P. D. Jones, R. W. Knight, G. Kukla, N. Plummer, V. Razuvayev, K. P. Gallo, J. Lindsey, R. J. Charlson, and T. C. Peterson. 1993. A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. Bulletin of the American Meteorological Society 74: 1007-1023.

- Khalifa, H. H. 2003. Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. In: Interactions between climate and animal production. Wageningen academic publishers, EAAP Technical number 7. pp: 15-29.
- Klohn, W., and J. Faurés. 2006. Water for food, agriculture and rural livelihoods. In: Water, a shared responsibility. The United Nations World Water Development Report 2: 243-274.
- Krepesky, N., F. S. Da Silva, L. F. Fontana, and M. A. C. Crapez. 2007. Alternative methodology for isolation of biosurfactant-producing bacteria. Brazilian Journal of Biology 67: 117-124.
- Kulicov, V., y R. Rudnev. 1987. Agrometeorología Tropical. Editorial Academia. La Habana. 256 p.
- Ledezma, R. M., F. Picón, G. Moreno y J. Zárate. 2011. Efecto del CIDR aplicado en vacas de carne receptoras para transferencia de embriones sobre la tasa de preñez. Ciencia UANL 14: 281-287.
- Lehn-Jensen, H. 1986. Cryopreservation of bovine embryos: an evaluation of factors influencing the survival of day 6½-7½ embryos during freezing and thawing. Mortensen, Copenhagen. pp: 63-68.
- Lomas L., S., C. A. Alves T., E. Terra N., E. P. da Costa, e J. Domingos G. 2002. Folículo Dominante e Resposta Superovulatória em Novilhas da Raça Nelore. Revista Brasileira de Zootecnia 31: 363-368.
- Lopes, F. F. P., Jr. C. C. Chase, Y. M. Al-Katanani, C. E. Krininger, R. M. Rivera, S Tekin, A. C. Majewski, O. M. Ocon, T. A. Olson, and P. J. Hansen. 2003. Genetic divergence in cellular resistance to heat shock in cattle: differences between breeds developed in temperate versus hot climates in responses of preimplantation embryos, reproductive tract tissues and lymphocytes to increased culture temperatures. Reproduction 125: 285-294.
- Mansilla, S.V. 1996. Estudio preliminar de algunas variables climáticas sobre la eficiencia reproductiva en vacas Holstein Friesian en la Provincia de Ñuble. Tesis. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

- Marten, G. G. 1988. Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural Systems* 26: 291-316.
- Martínez D., J. P., F. Gallardo L., L. Bustillo G., y A. Pérez V. 2010. El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola en Veracruz, la biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado (En prueba de galeras). CONABIO. pp.453-462.
- Martínez V., G., M. Montaña B., y J. A. Palacios F. 2006. Efectos genéticos directos, maternos y heterosis individual para tasas de estro, gestación, parición y destete de vacas Criollo, Guzerat y sus cruzas F1. *Técnica Pecuaria en México* 44: 143-154.
- Mojica P., J. 2002. Investigación de operaciones aplicadas a las ciencias sociales. Trillas. México. 243 p.
- Morales M., M., J. P. Martínez D., G. Torres H., y J. E. Pacheco V. 2004. Evaluación del potencial para la producción ovina con el enfoque de agroecosistemas en un ejido de Veracruz, México. *Técnica Pecuaria México* 42: 347-359.
- Murphy, B. D., R. J. Mapletoft, J. Manns, and W. D. Humphrey. 1984. Variability in gonadotrophin preparations as a factor in the superovulatory response. *Theriogenology* 21: 117-125.
- Olivera Á., M. 2003. Producción de embriones F1 BON, para la caracterización del doble propósito y como apoyo a las cadenas láctea y cárnica. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 16: 78-82.
- Olson, T. A. 2002. Crossbreeding Programs for Beef Cattle in Florida. BUL 326. Animal Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, USA. pp. 31. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/AN/AN05500.pdf> (Consulta: febrero, 2011).
- Orihuela, T., C. Galina, and A. Duchateau. 1988. Behavioral patterns of Zebu bulls towards cows previously synchronized with prostaglandin F2 α . *Animal Behavior Science* 21: 267-276.

- Oros N., V., P. Díaz R., J. Vilaboa A., J. P. Martínez D. y G. Torres H. 2011. Caracterización por grupos tecnológicos de los hatos ganaderos doble propósito en el municipio de Las Choapas, Veracruz, México. *Revista Científica* 21: 57-63.
- Peralta T., J. A., J. R. Aké L., F. G. Centurión C., y J.G. Magaña M. 2010. Comparación del cipionato de estradiol vs benzoato de estradiol sobre la respuesta a estro y tasa de gestación en protocolos de sincronización con CIDR en novillas y vacas *Bos indicus*. *Universidad y Ciencia* 26: 163-169.
- Pérez P., R. Rojo, A. Álvarez, J. García, C. Ávila, S. López, J. Villanueva, H. Chalate, E. Ortega, y J. Gallegos. 2003. Necesidades investigación y transferencia de tecnología de la cadena de bovinos de doble propósito en el estado de Veracruz. *Fundación Produce Veracruz*. 170 p.
- Pino T., G. Martínez E., R. Galíndez, M. Castejón, y A. Tovar. 2009. Efecto del Grupo Racial y Algunos Factores no Genéticos sobre la Producción de Leche e Intervalo entre Partos en Vacas de Doble Propósito. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias* 50: 224-228.
- Plasse, D., A. C. Warnick, and M. Koger. 1970. Reproductive behaviour of *Bos indicus* females in subtropical environment. Length of estrous cycle, duration of estrus, time of ovulation, fertilization and embryo survival in grade Brahman heifers. *Journal of Animal Science* 30: 63-72.
- Plasse, D. 1994. Factores que influyen en la eficiencia reproductiva de bovinos de carne en América Latina Tropical y estrategias para mejorarla. *Memorias manejo de la reproducción bovina en condiciones tropicales*. Cartagena de Indias, Colombia. pp: 82-120.
- Pullan, N.B. 1978. Condition score of white Fulani cattle. *Tropical animal Health Production*. 10: 118-120.
- Quijano B., J. H., y C. Montoya S. 2000. Comparación productiva de vacas Holstein y F1 Bon X Holstein en el centro Paysandu. *Profesores Asociados*. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Apartado 1779.
<http://www.agro.unalmed.edu.co/departamentos/panimal/docs/hvsf1.pdf>
(Consulta: enero, 2011).

- Riley, D. G., and R. J. Crockett. 2006. Heterosis retention and the dominance model in Florida beef research. *Florida Cattleman* 70: 42-46.
- Rizos, D., T. Fair, S. Papadopoulos, M. P. Boland, and P. Lonergan. 2002. Developmental, qualitative, and ultrastructural differences between ovine and bovine embryos produced *in vivo* or *in vitro*. *Molecular Reproduction and Development* 62: 320–327.
- Rojas R., R., J. F. Vázquez A., P. Pérez H., G. D. Mendoza M., A. Salem Z. M., B. Albarrán P., A. González R., J. Hernández M., S. Rebollar R. and D. Cardoso J. 2009. Dual purpose cattle production in Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 41: 715-721.
- Román P., H. 1978. Efectos del stress térmico sobre la fertilidad del ganado bovino. *Ciencia Veterinaria* 2: 266-288.
- Roth, Z., R. Meidan, R. Braw-Tal, and D. Wolfenson. 2000. Immediate and delayed effects of heat stress on follicular development and its association with plasma FSH and inhibin concentration in cows. *Journal of Reproduction and Fertility* 120: 83-90.
- Roth, Z., R. Meidan, A. A. Shaham, T. R. Braw, and D. Wolfenson. 2001. Delayed effect of heat stress on steroid production in medium-sized and preovulatory bovine follicles. *Journal of Reproduction and Fertility* 121:745-751.
- Roth, Z., and J. P. Hansen. 2004. Involvement of apoptosis in disruption of developmental competence of bovine oocytes by heat shock during maturation. *Biology of Reproduction* 71: 1898-1906.
- Ruíz G., C., B. C. Ávila H., L. A. García H., y L. Brunett P. 2008. Sustentabilidad financiera: El caso de una empresa ganadera de bovino de doble propósito. *Revista Mexicana de Agronegocios* 12: 503-515.
- Ruiz O. 1995. Agroecosistema. Término, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sistémico. In: *Seminario Internacional de Agroecología*. UACH. Estado de México. pp. 29-31.

- Ruiz R., O. 2006. Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia* 31: 140-145.
- Sakatani, M., S. Kobayashi, and M. Takahashi. 2004. Effects of heat shock on *in vitro* development and intracellular oxidative state of bovine preimplantation embryos. *Molecular Reproduction and Development* 67: 77-82.
- Sato, T., K. Nakada, Y. Uchiyama, Y. Kimura, and N. Fujiwara. 2005. The effect of pretreatment with different doses of GnRH to synchronize follicular wave on superstimulation of follicular growth in dairy cattle. *Journal of Reproduction and Development* 51: 573-578.
- Segura C., J. C., y R. C. Montes P. 2001. Razones y estrategias para la conservación de los recursos genéticos animales. *Revista Biomédica* 12: 196-206.
- Seidel, G. E. Jr., and S. M. Seidel. 1991. Training manual for embryo transfer in cattle. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 77: 164 p.
- Shiyomi, M., and H. Koizumi. 2001. Structure and function in agroecosystem design and management. 1a Edition. CRC Press. pp. 1-38.
- Simón, L., O. López, y D. Álvarez. 2010. Evaluación de vacas de doble propósito de genotipos Holstein x Cebú en sistemas de pastoreo arborizado. II. Búparas. *Pastos y Forrajes* 33: 1-5.
- Sölkner, J., J. Miesenberger, A. Willam, C. Fuerst, and R. Baumung. 2000. Total merit indices in dual purpose cattle. *Tierz Dummerstorf* 43: 597-608.
- Soto, M., L. Gama, y M. Gómez. 2001. Los climas cálidos subhúmedos del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 3: 31-40.
- Sprott, L. R., E. G. Selk, and D. C. Adams. 2001. Review: Factors affecting decisions on when to calve beef females. *Professional Animal Scientist* 17: 238-246.

- Stott, H. G., and F. Wiersma. 1973. Climatic thermal stress, a cause of hormonal depression and low fertility in bovine. *Journal Biometeorology* 17: 115-122.
- Stringfellow, D. A., and M. S. Seidel. 1998. *Manual of the International Embryo Transfer Society: A procedural guide and general information for the use of embryo transfer technology, emphasizing sanitary precautions*. 3rd edition. 170 p.
- Suthar, V. S., and R. G. Shah. 2009. Bovine in vitro embryo production: an overview. *Veterinary World* 2: 478-479.
- Teyer, R., G. J. Magaña, J. Santos, y C. Aguilar. 2003. Comportamiento productivo y reproductivo de vacas de tres grupos genéticos en un hato de doble propósito en el sureste de México. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 37: 363-370.
- Thornton, P. K., J. Van de Steeg, A. Notenbaert, and M. Herrero. 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems* 101: 113-127.
- Trebuil, G. 1990. *Farming systems research and development in Thailand: illustrated methodological considerations and recent advances*. The Thai-French Farming Systems Research Project. Prince of Songkla University. Haad Yai, Thailand. pp. 29-63.
- Trueta, R. 2003. Crónica de una muerte anunciada, Impacto del TLC en la Ganadería Bovina Mexicana. Memorias. XVII Congreso Nacional de Buiatría. Villahermosa, Tabasco. México. pp. 57-87.
- Umbaugh, R. E. 1949. Superovulation and ovum transfer in cattle. *American Journal of Veterinary Research* 10: 295-305.
- Urdaneta, F. 2009. Mejoramiento de la eficiencia productiva de los sistemas de ganadería bovina de doble propósito (Taurus-Indicus). *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 17: 109-120.

- Vaccaro, L., A. Pérez, H. Mejías, R. Khalil, y R. Vaccaro. 1997. Cuantificación de la interacción genotipo-ambiente en sistemas de producción de bovinos de doble propósito. *In: Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito*. Lascano C. E. y F. Holmann (eds.). CIAT. Consorcio Tropicoleche. Cali, Colombia. pp. 67-79.
- Vandermeer, J. H. 2003. *Tropical Agroecosystems*. 1ª edition. CRS Press, United States of America. pp. 1-9.
- Vega M., V. E., A. Ríos, M. Montaña B., J. Lagunes L., y R. Calderón. 1996. Comportamiento reproductivo hasta el destete de vacas cebú apareadas con sementales *Bos taurus* y *Bos indicus*. *Técnica Pecuaria México* 34: 12-19.
- Velázquez C., G. F. 2005. Cambio climático y protocolo de Kioto. *Ciencias y Estrategias. Compromiso para España. Revista Española de Salud Pública* 79: 191-201.
- Vilaboa A., J., P. Díaz R., O. Ruiz R., D.E. Platas R., S. González M., y F. Juárez L. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 53-62.
- Villagómez A., M. E., R. Castillo H., A. Villa-Godoy, P. Román H., y P. Vázquez C. 2000. Influencia estacional sobre el ciclo estral y el estro en hembras cebú mantenidas en clima tropical. *Técnica Pecuaria México* 38: 89-103.
- Vitousek, P. M. 1994. Beyond global warming: Ecology and global change. *Ecology* 75: 1861-1876.
- West, J. W. 2003. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 86: 2131-2144.
- Wiersma, F. 1990. Temperature-humidity index table for dairy producers to estimate heat stress for dairy cows. Department of Agricultural Engineering, University of Arizona, Tucson, USA.

Willett, E., L. G. Black W., E. Casida L., W. H. Stone, and P. J. Buckner. 1951. Successful transplantation of fertilized bovine ovum. *Science* 113: 247.

Young, B. A. 1981. Cold stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science* 52: 154-163.