

Ambiente y manejo modulan la cantidad y viabilidad del *complejo cumulus oophorus* (COCs) de vacas donadoras Cebú en el trópico

Environment and donor management affect production amount and viability of *cumulus-oocyte complexes* (COCs) from *Bos Indicus* cows in the tropics

Zavaleta-Martínez, A.¹, Barrientos-Morales, M.¹, Absalon-Medina, V.^{2,3} ,
Hernández-Beltrán, A.¹ , Cervantes-Acosta, P.¹ , Martínez-Hernández, J.M.¹,
Rodríguez-Andrade, A.⁴, Domínguez-Mancera, B.^{1*} 

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Veracruzana. Miguel Ángel de Quevedo, s/n, Colonia Unidad Veracruzana. C.P:911710, Veracruz, Veracruz, México.

² Department of Animal Sciences, The Ohio State University, Columbus, OH, USA;

³ STgenetics, South Charleston, OH, USA;

⁴ Departamento de Química y Bioquímica. Instituto Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Veracruz. Miguel Ángel de Quevedo, 2779, Colonia Formando Hogar. C.P:91897, Veracruz, Veracruz, México.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Zavaleta-Martínez, A., Barrientos-Morales, M.I., Absalon-Medina, V., Hernández-Beltrán, A., Cervantes-Acosta, P., Martínez-Hernández, J.M., Rodríguez-Andrade, A., Domínguez-Mancera, B. (2025) Environment and donor management affect production amount and viability of cumulus-oocyte complexes (COCs) from *Bos Indicus* cows in the tropics. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1852. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1852>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: December 13th 2024.

Accepted/Aceptado: August 25th 2025.

Available on line/Publicado: September 17th 2025.

RESUMEN

Con la finalidad de correlacionar factores ambientales y de manejo que modulan la cantidad y viabilidad del *complejo cumulus oophorus* (COCs) en donadoras (N = 205) cebú en el trópico, fueron obtenidos COCs (N = 5896) por aspiración folicular guiada por ultrasonografía en distintas unidades de producción pecuaria. Los COCs se evaluaron por Microscopio-estereoscópico y las variables dependientes fueron: 1) cantidad de COCs y 2) porcentaje de COCs viables. Variables ambientales fueron: Índice de Temperatura-Humedad (THI, *comfort*, alerta, peligro y emergencia); épocas: seca (diciembre-mayo) y lluvia (junio-noviembre), y estaciones. Manejo incluyó: Índice tecnológico (TI: bajo, medio, alto), alimentación (pastoreo o pastoreo + suplementación), preparación (<30, 30-90 y > 90 días). Se realizó ANOVA de una vía, factorial y análisis multivariados. THI en *Comfort* y alerta mostraron viabilidad más alta (68.86 ± 2.00 y 74.10 ± 2.59) que peligro y emergencia (62.40 ± 2.01 y 56.52 ± 5.51; p < 0.05); verano e invierno (56.88 ± 3.20 y 61.07 ± 2.25) muestran menor viabilidad que primavera y otoño (67.90 ± 2.19 y 76.25 ± 1.92). El TI alto (35.54 ± 5.16) mostró mayores cantidades de COCs que el bajo y medio (27.31 ± 1.72 y 28.20 ± 1.84), pastoreo más suplementación aumentan la cantidad (30.96 ± 1.77 vs 25.25 ± 2.09; p < 0.05) que solo pastoreo. La preparación afectó la cantidad de COCs siendo mayor en <30 y 30-90 días (37.62 ± 5.24 y 32.65 ± 2.45) que > 90 (24.21 ± 1.50; p < 0.05).

PALABRAS CLAVE: *Comfort* térmico, bovino, Estrés térmico, ovocitos, embriones *in vitro*.

*Corresponding Author:

Belisario Domínguez-Mancera. Laboratorio de Neuroendocrinología y Biología celular, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana. Miguel Ángel de Quevedo, s/n, Colonia Unidad Veracruzana. C.P:911710, Veracruz, Veracruz, México. Teléfono: (229) 934 20 75. E-mail: beldominguez@uv.mx

ABSTRACT

In order to correlate environmental and management factors that influence the quantity and viability of the *cumulus-oocyte* complexes (COCs) in donor zebu females (N = 205) under tropical conditions. A total of (N = 5896) COCs were collected through ovum-pick up across different livestock production units. The COCs were evaluated under a stereomicroscope, and the dependent variables were: 1) the total number of recovered COCs and 2) the percentage of viable COCs. Environmental variables included: Temperature-Humidity Index (THI; classified as comfort, alert, danger, and emergency); seasons by rainfall: dry (December-May) and rainy (June-November); and season by month. Management-related variables included: technological index (TI: low, medium, high), diet (grazing only or grazing + supplementation), and acclimation (<30, 30-90, and > 90 days). One-way ANOVA, factorial ANOVA, and multivariate analyses were conducted. THI levels in the comfort and alert categories were associated with higher viability rates (68.86 ± 2.00 and 74.10 ± 2.59 , respectively) compared to danger and emergency indexes (62.40 ± 2.01 and 56.52 ± 5.51 ; $p < 0.05$). Additionally, during summer and winter seasons (56.88 ± 3.20 and 61.07 ± 2.25) showed lower viability than spring and autumn (67.90 ± 2.19 and 76.25 ± 1.92). A high TI (35.54 ± 5.16) was associated with a greater number of COCs compared to low and medium TI (27.31 ± 1.72 and 28.20 ± 1.84 , respectively), while grazing plus supplementation increased COC yield (30.96 ± 1.77 vs. 25.25 ± 2.09 ; $p < 0.05$) compared to grazing alone. Acclimation also influenced COC quantity, being higher in < 30 and 30–90 days (37.62 ± 5.24 and 32.65 ± 2.45) than in > 90 days (24.21 ± 1.50 ; $p < 0.05$).

KEY WORDS: Thermal comfort, bovine, Thermal stress, Oocytes embryos *in vitro*.

Introducción

La transferencia de embriones (ET) bovinos, es una biotecnología reproductiva que consiste en el trasplante de embriones provenientes de donadoras vacas o novillas, al útero de hembras receptoras, que se encargan de mantener la gestación hasta su término, es una herramienta para incrementar la descendencia de individuos con alto valor genético y diseminar características genéticas deseables en las poblaciones (Baruselli *et al.*, 2006). Para llevar a cabo un programa de TE eficiente, es necesario emplear herramientas reproductivas, con la finalidad de producir embriones de manera múltiple (Narváez *et al.*, 2022). Los ovocitos pueden ser colectados de ovarios provenientes de rastros o *in vivo* de una hembra donante; el primer método tiene la desventaja de que no es posible conocer datos sobre la genética y estado de salud de las hembras bovinas; mientras que el uso de hembras donantes bovinas (BD) con el empleo de la

técnica de aspiración folicular guiada por ultrasonografía por sus siglas en inglés Ovum Pick Up (OPU), se pueden obtener los datos específicos de las hembras donantes, el ambiente donde se encuentran y el manejo previo (Morera *et al.*, 2022).

La producción de embriones bovinos *in vitro* es un reto en los diferentes sistemas de producción ganadera, donde la calidad y la viabilidad del *complejo cúmulos oophorus* (COCs) juega un papel fundamental en la producción de embriones; el COCs, se compone de un ovocito rodeado por células llamado cúmulo, esencial en el desarrollo y la calidad del ovocito para ser fertilizado *in vitro* (IVF) (Bó & Pincay, 2017). La calidad y viabilidad del COCs es un indicador importante, ya que influye en la capacidad del desarrollo del embrión; estudios recientes han demostrado que factores como las prácticas de manejo en la unidad de producción pecuaria (LPUs), la alimentación (Pérez & Castillo, 2021), el medioambiente; afectan la cantidad y la calidad del COCs de la BD (Cao & Jiang, 2020). La viabilidad del COCs no solo se encuentra determinada por la genética del animal; además, está ligada a la homeostasis; factores ambientales como la temperatura media, la humedad relativa, la cantidad de lluvia, la presencia y velocidad del viento, son causantes de estrés en las regiones tropicales, estos pueden alterar la calidad del COCs y a su vez afectan las tasas de IVF y, por último, el desarrollo embrionario (González & Salas 2019). La exposición de BD al estrés térmico provoca alteraciones fisiológicas en la reproducción (Roth, 2020; Cardone *et al.*, 2022), interfiriendo en la maduración del ovocito, la fertilización y el desarrollo embrionario (Roth *et al.*, 2001; Gendelman & Roth, 2012). Los efectos negativos del estrés por calor sobre la BD son perjudiciales en la calidad de los ovocitos y dichos efectos pueden perdurar hasta por 3 ciclos estrales después de haberse presentado una onda de calor (Roth & Hansen, 2004; Zavaleta-Martínez *et al.*, 2024), se ha mencionado que los ovocitos encontrados en los folículos terciarios y preovulatorios (antrales) son los más susceptibles al estrés térmico (Roth *et al.*, 2001; Kawano *et al.*, 2022); aunado a ello, se ha relacionado al estrés térmico con la apoptosis de los ovocitos durante el desarrollo folicular y de las células del COCs (Ahmed *et al.*, 2017). La calidad de los COCs ha sido relacionada con la disponibilidad de nutrientes clave en la alimentación de la BD, como vitaminas, minerales, antioxidantes que provienen del manejo alimenticio y que pueden influir en la cantidad y calidad del COCs, así que, una dieta balanceada con suficientes nutrientes esenciales puede mejorar la cantidad y la calidad del COCs (Lucy, 2001).

Es por ello, que resulta necesario realizar un análisis integral de estos factores (manejo y ambiente) en el trópico donde el manejo de las BD y la variabilidad climática son muy cambiantes y con ello, encontrar procedimientos, épocas o estaciones que puedan favorecer la cantidad y calidad de los COCs para ser utilizados en la producción de embriones *in vitro*.

Material y Métodos

Zona de estudio

El estudio se realizó en el trópico mexicano; en unidades de producción pecuaria (LPUs) localizadas en los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz.

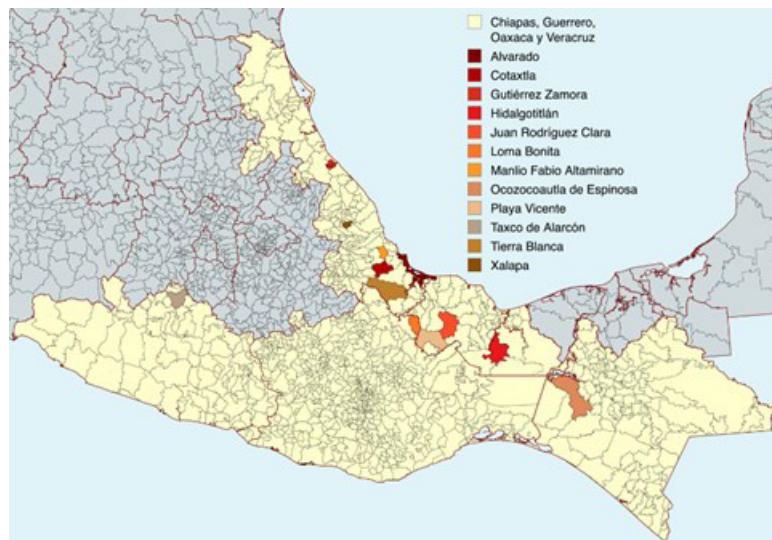


Figura 1. Ubicación de las Unidades de Producción Pecuaria en los diferentes municipios de los estados del México analizados.

Se muestran los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz.

Animales experimentales

La información de los COCs se obtuvo a partir de 205 BD de raza cebú sin superovulación por medio de la técnica de aspiración folicular guiada por ultrasonografía (Ovum Pick-Up, OPU).

Manejo nutricional y zoosanitario de la Donadora Bovina

Todas las BD fueron mantenidas bajo un sistema de pastoreo extensivo en pastos nativos *Cynodon nemfuensis* y *Brachiaria humidicola*; y en algunas de las LPUs se ofreció alimento comercial con 16 % de proteína. Se contempló un plan nutricional adicionado con sales minerales *ad libitum* y grasa de sobreceso (300 g/animal, Percutrin Energy, Bayer; Leverkusen, Alemania). El plan zoosanitario contempló baño garapaticida (Amitraz 12.5 %. BOVITRAZ®, Bayer; Leverkusen, Alemania) y desparasitación interna (Ivermectin 1 %, BAYMEC® Prolong, Bayer; Leverkusen, Alemania), aunado a vacunación contra enfermedades virales (BOVILIS® VISTA 5 L5 SQ, MSD Animal Health; Rahway, New Jersey, USA) y clostridiales (CLOSTRIGEN® 9 + T, Virbac; Westlake, Texas USA).

Obtención del Complejo Cúmulos Oophorus COCs.

La obtención de los COCs se realizó con el empleo de aspiración folicular guiada por ultrasonografía (Ovum Pick Up, OPU); el cual permite recolectar COCs de BD provenientes de

folículos ováricos con diámetro de 2 - 8mm; se utilizó un catéter desechable de 19 "G" (Punzocat), acoplado a una línea de teflón con presión negativa de 70 mm/Hg. Previo a la aspiración, se aplicó anestesia epidural (0.2 mg/kg Lidocaína al 2 %; Logymed, Logistic & Medicine, Colombia) entre el espacio de la última vértebra sacra y la primera coccígea.

Una vez *in situ*, con el transductor vaginal se identificaron ambos ovarios, los cuales fueron manipulados de manera transrectal para posteriormente aspirar los folículos (ecógrafo Mindray, DP 10 VET). Dicho ecógrafo se encuentra equipado con un transductor micro convexo de 7.5 MHz de frecuencia, con una guía transvaginal para aspiración folicular (Morera *et al.*, 2022; Narváez *et al.*, 2022). Se utilizó un tubo cónico de 50 ml con 5 ml de D-PBS suplementado con 10UI/ml (0.1 %) de heparina (Hep-Tec®; Heparina 10000 UI/10ml) en cada BD; se recolectó el contenido folicular para posteriormente ser lavado con 50ml de D-PBS con un filtro EmCon de 75 micras (Agtech, USA) y colocados en una placa de Petri (60 x 15mm).

Las estructuras encontradas en el lavado se cuantificaron, evaluaron y seleccionaron de acuerdo con el número de capas de células de la granulosa que poseía, coloración uniforme del núcleo, integridad de la zona pelúcida, de acuerdo con la clasificación de Loss *et al.* (1989), y las normas de la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones (IETS, 1998); se seleccionaron los ovocitos viables grado I y II (clasificación I-IV).

Factores evaluados

Los factores evaluados se categorizaron en dos grupos; aquellos relacionados con el ambiente donde se localiza la LPUs y los relacionados con el manejo de la LPUs.

Ambiente: temperatura ambiental (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento dominante (km/h), cantidad de lluvia acumulada mensual (mm), algunos de ellos fueron tomados *in situ* con ayuda de higrotermómetros digitales portátiles (AcuRite, Model:01083M, Lake Geneva, Wisconsin, USA) y otros fueron obtenidos de estaciones meteorológicas cercanas a las LPUs. Para determinar el índice de seguridad climática ganadero, conocido comúnmente como índice de temperatura-humedad (THI), se utilizó la ecuación 1:

$$THI = 1.8 * T + 32 - (0.55 - (0.55 * RH)) * (1.8 * (T - 26)) \quad \text{Ecuación 1.}$$

Dónde T= temperatura ambiental en °C y RH es la Humedad Relativa en %

Con los números obtenidos de la ecuación 1, se categorizó el THI como: *Confort* <74 unidades, alerta de 75-78, peligro de 79-83 y emergencia ≥84 (Saizi *et al.*, 2019).

Manejo: Índice tecnológico, obtenido a partir de la información recabada por encuestas con el uso de la metodología propuesta por De Freitas & Pinheiro (2013) y Juárez-Barrientos (2015); que considera el uso de 23 prácticas tecnológicas que se integran en 5 áreas zootécnicas, (Manejo nutricional, Manejo genético y reproductivo, Manejo sanitario, Manejo administrativo/

comercialización y Manejo de pastos). El cálculo del TI por área zootecnia y total se realizó mediante la siguiente ecuación:

Índice Tecnológico del área zootécnica:

$$TI_{área} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \text{prácticas realizadas} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Dónde: n = número de prácticas del área zootécnica, i = éSIMA practica del área zootécnica

El Índice Tecnológico total:

$$TI_{total} = \frac{1}{N} * \sum_{j=1}^n \text{áreas} \sum_{i=1}^n \text{prácticas realizadas} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Dónde: N= Total de prácticas realizadas (N = 23), j= j-ésima áreas zootécnica, i = i-ésima práctica realizada en la j-ésima área tecnológica (n).

El Índice tecnológico total (TI_{total}) se multiplicó por 100 para así obtener un porcentaje de las prácticas realizadas en la UPP; el valor se categorizó en cuartiles; donde $Q_1 < 70$ se consideró bajo, el $Q_2 70 - 75$ se consideró medio y $Q_3 > 75$ se consideró alto (Arrieta-González *et al.*, 2022). Alimentación, se agruparon a las BD de acuerdo con manejo alimenticio general durante el año, en pastoreo; BD que se encontraban únicamente en las praderas de la LPUs y pastoreo con suplementación (alimento comercial con 16 % de proteína), BD que además del pastoreo se les suplementaba con alimento comercial. Tiempo de preparación de la BD, días previos a la OPU en que los animales fueron seleccionados para la donación de óvulos; consistió además de la alimentación general, la inclusión del plan nutricional del programa antes de realizar la OPU, que adiciona sales minerales *ad libitum* y grasa de sobre peso (300 g/animal) 30 días previos a la OPU, de 30 a 90 días previos y >90 días previos a la OPU.

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron con ayuda del programa estadístico STATISTICA v10.0 para Windows StatSoft, Inc. (2011). Con ANOVA de una vía para el análisis de los efectos principales y Factorial para analizar su interacción; las comparaciones de medias se realizaron por el método de Tukey ($p < 0.05$). Además, se realizó análisis multivariados (Agrupamiento, Clúster y Componentes Principales, PCA) para encontrar las asociaciones entre las variables dependientes (cantidad y viabilidad de COCs) y las variables independientes (ambiente y manejo); las gráficas se realizaron con ayuda del programa estadístico SigmaPlot v11.0 (Systat Software, 2008).

Resultados y Discusión

En primera instancia, se realizó un análisis climatológico general con los datos meteorológicos de la zona de estudio obtenidos a partir del higrotermómetro digital y de las

estaciones meteorológicas cercanas a las LPUs, con la finalidad de mostrar un climograma general (Figura 2A); con ello, se procedió a dividir el año en estaciones, épocas y categorías del THI (Figura 2B), y así, asociar los valores de la cantidad y viabilidad del COCs.

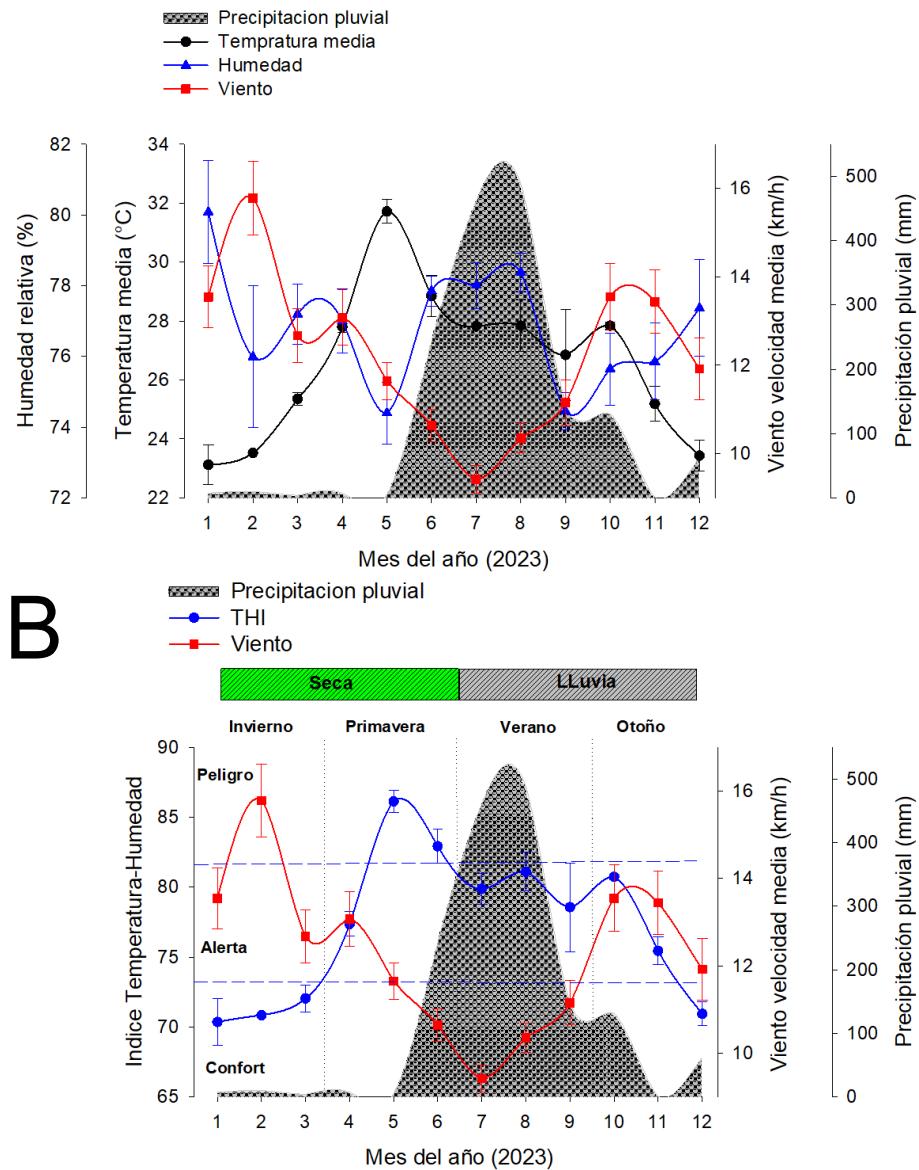


Figura 2. Análisis climatológico general en la zona de estudio.

A. Climatograma general. Se muestra la lluvia mensual acumulada (▨, mm), la temperatura media (●, °C), la humedad relativa (▲, %) y la velocidad media del viento dominante (■, km/h). **B.** Climatograma por estación, consiste donde se aprecian las divisiones de la época seca (febrero - junio, ▨), Lluvia (julio-noviembre, ▨), las estaciones, (líneas punteadas verticales) y el THI (●), líneas azules discontinuas horizontales; así como la velocidad del viento dominante (■, km/h).

El trópico húmedo mexicano representa más de la mitad de la superficie del área que se ocupa para la ganadería; así, el sistema de bovinos manejados en el Doble Propósito se desarrolla principalmente bajo el sistema de pastoreo extensivo (Vilaboa & Díaz, 2009) y es una de las principales actividades productivas del sector agropecuario para la producción de leche y carne (Orantes *et al.*, 2010) a nivel nacional. Estas regiones, en su mayoría se encuentra cubierta con pastos nativos de los géneros *Cynodon*, *Paspalum*, *Brachiaria* y *Axonopus*, donde las BD cebú pastorean; entre sus características más notables de estas gramíneas, podemos citar la resistencia a plagas, su adaptación a suelos ácidos de baja a mediana fertilidad, e inundaciones temporales; a pesar de su baja calidad en proteína, las gramíneas nativas son la fuente forrajera más importante en los sistemas de producción de bovinos debido a su adaptación al medio tropical cambiante (Aguiar *et al.*, 2014; Cruz *et al.*, 2017). En el trópico húmedo del sureste mexicano, donde se realizó el análisis, se presentan épocas del año bien definidas: época de lluvias comprendidas de junio a octubre, época del viento dominante del norte “nortes” en los meses de octubre a febrero, que se empalma con la época seca de febrero a mayo (Vidal-Zepeda *et al.*, 2005), las cuales afectan la cantidad y calidad del forraje que consumen las DB, así como el comportamiento reproductivo de los bovinos (Galina & Geffroy, 2023), por ejemplo edades al primer parto de 36 meses y fertilidad del 43 por ciento (Ríos-Utrera *et al.*, 2020). Estudios previos mencionan que independiente de la temporada de forraje, las vacas tienen déficits de energía en períodos secos (Absalón-Medina *et al.*, 2012).

Con base en el climatograma, las variables de estudio del COCs (cantidad y viabilidad) se graficaron en función del mes en que se colectaron, para apreciar su comportamiento a través del año 2023 (Figura 3). Se puede observar que a medida que el THI incrementa (*comfort*, alerta, peligro), la viabilidad del COCs disminuye y viceversa; también se pueden apreciar los cambios en la cantidad del COCs respecto a las variables ambientales en el año de estudio.

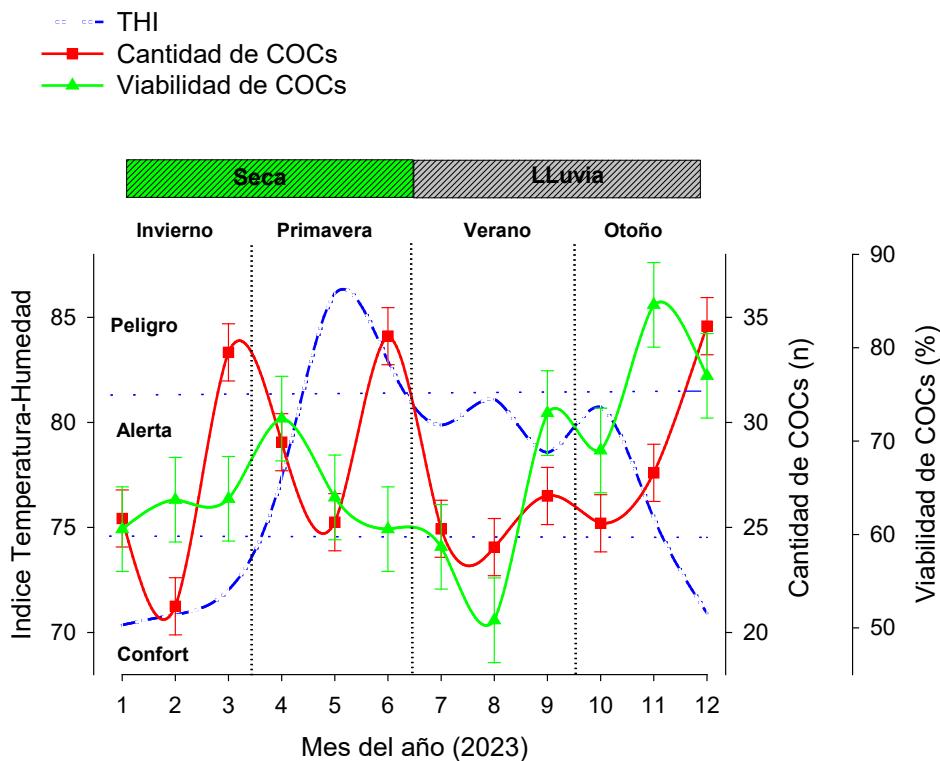


Figura 3. Distribución del Complejo Cumulus Oophorus (cantidad y viabilidad) a través del año de estudio.

Se ha dividido el año en temporadas (seca y lluvia , cuadro superior), estaciones (líneas puntadas verticales) y categorías de THI (líneas azules horizontales discontinuas). Se aprecia la viabilidad (%), la cantidad (n) y la cantidad (n) del COCs en función del tiempo (meses del año).

Con las divisiones realizadas en el año (THI, época y estación) y las categorías del manejo de la BD (Índice tecnológico, alimentación y tiempo de preparación), se procedió a realizar los análisis inferenciales con los efectos (factores) principales para posterior a ello, analizar las interacciones y determinar si los cambios observados en el ambiente como en el manejo son significativos; los análisis se muestran en las siguientes tablas (1-4).

En la Tabla 1. Muestra los resultados del análisis de los efectos principales del ambiente (THI, época y estación del año), con sus respectivas categorías; así como, los efectos del manejo de la LPUs (Índice tecnológico, alimentación y tiempo de preparación de la BD).

Tabla 1. Análisis de factores extrínsecos que modulan la cantidad y la viabilidad del COCs en donadoras bovinas cebú en el trópico.

Factores extrínsecos		Complejo Cúmulos Oophorus COCs				
Ambiente		N = 205	Cantidad (n)	p-valor	Viabilidad	p-valor
THI	Confort	61	31.09 ± 2.74	0.4071	68.86 ± 2.00 ^b	0.0003
	Alerta	44	30.77 ± 3.62		74.10 ± 2.59 ^b	
	Peligro	78	26.91 ± 1.89		62.40 ± 2.01 ^a	
	Emergencia	22	24.81 ± 2.67		56.52 ± 5.51 ^a	
Período	Seca	93	27.98 ± 2.04	0.6087	64.67 ± 1.67	0.2904
	Lluvia	112	29.40 ± 1.85		67.47 ± 1.95	
Estación	Primavera	40	30.70 ± 2.57	0.7734	67.90 ± 2.19 ^b	0.0001
	Verano	58	29.03 ± 2.75		56.88 ± 3.20 ^a	
	Otoño	50	27.92 ± 2.90		76.25 ± 1.92 ^c	
	Invierno	57	26.65 ± 2.67		61.07 ± 2.25 ^{ab}	
Manejo						
Índice tecnológico	Bajo	54	27.31 ± 1.72	0.2204	67.10 ± 2.09	0.4412
	Medio	129	28.20 ± 1.84		65.11 ± 1.83	
	Alto	22	35.54 ± 5.16		70.39 ± 2.78	
Alimentación	Pastoreo	79	25.25 ± 2.09 ^a	0.0422	66.93 ± 2.57	0.6625
	Pastoreo+suplementación	126	30.96 ± 1.77 ^b		65.75 ± 1.41	
Días de preparación	< 30	16	37.62 ± 5.24 ^b	0.0019	63.84 ± 3.57	0.2214
	30 - 90	85	32.65 ± 2.45 ^b		68.91 ± 1.72	
	> 90	104	24.21 ± 1.50 ^a		64.35 ± 2.08	

^{a,b}Diferentes superíndices entre filas de la misma columna son significativos (LSD de Fisher, $p < 0.05$).

Los efectos del ambiente y el manejo en el ganado bovino son variables y complejos, ya que condicionan el entorno en que los animales se desarrollan y reproducen; sus influencias en el bienestar, producción y reproducción han sido reconocidas y estudiadas por mucho tiempo. El clima y su variabilidad afecta a los bovinos directa e indirectamente, ya que modifican la calidad y/o cantidad de forraje disponibles, agua, energía consumida y su uso; esto hace que los bovinos enfrenten las condiciones adversas del ambiente a través de la modificación de mecanismos fisiológicos y de comportamiento para mantener su temperatura corporal dentro de un intervalo normal. Como consecuencia, se observan alteraciones en el consumo, el comportamiento y la productividad (bajos indicadores). Estos cambios se acentúan en condiciones extremas de los trópicos, lo que conlleva a reducciones en los índices productivos y reproductivos (Grossi *et al.*, 2018; Galina & Geffroy, 2023) Aunado a ello, el manejo (prácticas realizadas) de la LPU juega un papel muy importante en los trópicos; ya que generalmente la adopción tecnológica es baja (Galina *et al.*, 2016; Arrieta- Aguirre *et al.*, 2022); así que la implementación de biotecnologías

reproductivas para mejorar la rentabilidad de la LPUs no es una tarea fácil y muestran bajos desempeños (Tabla 1) como la cantidad y viabilidad de los COCs para su maduración, fertilización y desarrollo embrionario *in vitro* para su posterior transferencia a receptoras bovinas (Wu & Zan, 2012; Pérez-Mora *et al.*, 2020).

Las siguientes Tablas, muestran los análisis factoriales de los efectos del índice tecnológico (Tabla 2) la alimentación (Tabla 3) y el tiempo de preparación de la bovina donadora bovina cebú (Tabla 4) con los factores ambientales.

Tabla 2. Análisis factorial de los efectos del índice tecnológico con los factores ambientales que modulan la cantidad y la viabilidad del COC en donadoras bovinas cebú en el trópico.

Factor 1	Factor 2	Complejo Cúmulos Oophorus COCs				
		N=205	Cantidad (n)	p-valor	Viabilidad (%)	p-valor
Índice Tecnológico	Bajo	Confort	10	37.50 ± 5.5	74.94 ± 4.4 ^c	0.0001
		Alerta	3	25.33 ± 7.4	51.04 ± 4.5 ^b	
		Peligro	25	24.12 ± 1.8	64.49 ± 3.0 ^b	
		Emergencia	16	26.31 ± 2.9	69.29 ± 3.8 ^c	
	Medio	Confort	45	29.53 ± 3.1	67.91 ± 2.4 ^b ^c	
		Alerta	34	27.14 ± 3.8	75.97 ± 3.0 ^c	
		THI	44	28.68 ± 3.1	0.1627	59.67 ± 2.9 ^b
		Emergencia	6	20.83 ± 5.9		22.48 ± 5.3 ^a
	Alto	Confort	6	32.16 ± 12.1	65.80 ± 5.2 ^b	
		Alerta	7	50.71 ± 10.2	74.92 ± 3.5 ^c	
		Peligro	9	26.00 ± 3.7	69.93 ± 5.1 ^c	
		Emergencia	***	***	***	
Periodo	Bajo	Seca	29	25.31 ± 2.3	0.1520	62.43 ± 2.8
		Lluvia	25	29.64 ± 2.5		72.52 ± 2.8
		Seca	59	29.89 ± 2.9		65.97 ± 2.2
		Lluvia	70	26.78 ± 2.3		64.39 ± 2.8
	Medio	Seca	5	21.00 ± 5.9		62.40 ± 4.9
		Lluvia	17	39.82 ± 6.1		72.74 ± 3.14

*** No se obtuvieron donadoras bovinas en esta interacción.

Continuación

Tabla 2. Análisis factorial de los efectos del índice tecnológico con los factores ambientales que modulan la cantidad y la viabilidad del COC en donadoras bovinas cebú en el trópico.

Factor 1	Factor 2	Complejo Cúmulos Oophorus COCs				
		N=205	Cantidad (n)	p-valor	Viabilidad (%)	p-valor
Índice Tecnólogo	Bajo	Invierno	10	29.60 ± 4.7	0.3338	52.03 ± 2.7 ^a 0.0001
		Primavera	24	24.37 ± 2.2		69.03 ± 2.9 ^c
		Verano	5	27.00 ± 4.3		71.81 ± 3.9 ^c
		Otoño	15	30.60 ± 3.6		72.50 ± 4.3 ^c
	Medio	Invierno	25	26.60 ± 3.6		64.42 ± 3.0 ^{bc}
		Primavera	34	32.32 ± 4.3		67.11 ± 3.1 ^c
		Verano	45	28.02 ± 3.2		55.22 ± 3.4 ^{ab}
		Otoño	25	24.56 ± 3.0		80.89 ± 2.6 ^d
	Alto	Invierno	5	21.00 ± 5.9		62.40 ± 4.9 ^{ab}
		Primavera	***	***		***
		Verano	***	***		***
		Otoño	17	39.82 ± 6.1		72.74 ± 3.1 ^c

^{a,b} Diferentes superíndices entre filas de la misma columna son significativos (LSD de Fisher, $p < 0.05$).

*** No se obtuvieron donadoras bovinas en esta interacción.

Tabla 3. Análisis factorial de los efectos del tipo de alimentación con los factores ambientales que modulan la cantidad y la viabilidad del COCs en donadoras bovinas cebú en el trópico.

Factor 1	Factor 2	Complejo Cúmulos Oophorus COC			
		N=205	Cantidad (n)	p-valor	Viabilidad (%)
Alimentación	Pastoreo	Confort	30	28.66 ± 3.6	74.34 ± 2.7 ^c
		Alerta	14	20.07 ± 3.3	80.67 ± 4.1 ^c
		Peligro	29	25.13 ± 3.7	61.82 ± 4.0 ^b
		Emergencia	6	20.83 ± 5.9	22.48 ± 5.3 ^a
	Pastoreo + suplementación	THI		0.1519	0.0001
		Confort	31	33.45 ± 4.0	63.55 ± 2.6 ^b
		Alerta	30	35.76 ± 4.8	71.03 ± 3.1 ^c
		Peligro	49	27.95 ± 2.0	62.74 ± 2.1 ^b
Periodo	Pastoreo	Emergencia	16	26.31 ± 2.9	69.29 ± 3.8 ^{bc}
		Seca	24	18.75 ± 1.8 ^a	67.85 ± 3.8
	Pastoreo + suplementación	Lluvia	55	28.09 ± 2.8 ^b	66.53 ± 3.3
		Seca	69	31.20 ± 2.5 ^b	63.57 ± 1.8
	Pastoreo	Lluvia	57	30.66 ± 2.4 ^b	68.38 ± 2.1
		Invierno	13	17.23 ± 2.3	67.09 ± 4.8 ^b
		Primavera	11	20.54 ± 3.0	68.75 ± 6.4 ^b
		Verano	24	26.16 ± 4.5	48.81 ± 5.1 ^a
Estación	Pastoreo	Otoño	31	29.58 ± 3.6	80.24 ± 2.2 ^c
		Estación		0.2746	0.0001
	Pastoreo + suplementación	Invierno	27	31.18 ± 3.4	58.17 ± 2.2 ^a
		Primavera	47	31.02 ± 3.2	67.70 ± 2.2 ^b
		Verano	26	29.53 ± 3.7	64.33 ± 3.4 ^b
		Otoño	26	32.03 ± 3.7	71.49 ± 3.0 ^c

^{a,b} Diferentes superíndices entre filas de la misma columna son significativos (LSD de Fisher, $p < 0.05$).

Tabla 4. Análisis factorial de los efectos del tiempo de preparación de la donadora bovina con los factores ambientales que modulan la cantidad y la viabilidad del COCs en donadoras bovinas cebú en el trópico.

Factor 1	Factor 2	Complejo Cúmulos Oophorus COCs			
		N=205	Cantidad (n)	p-valor	Viabilidad (%)
THI	< 30	Confort	8	45.37 ± 8.8 ^c	72.26 ± 4.3 ^c
		Alerta	2	48.00 ± 2.0 ^c	65.40 ± 2.2 ^{bc}
		Peligro	6	23.83 ± 3.6 ^{ab}	52.10 ± 4.4 ^b
		Emergencia	***	***	***
	30-90	Confort	23	35.21 ± 5.0 ^b	63.28 ± 3.0 ^{bc}
		Alerta	26	36.50 ± 5.5 ^b	74.69 ± 3.3 ^c
		Peligro	25	28.64 ± 3.6 ^b	65.03 ± 3.1 ^c
		Emergencia	11	27.36 ± 2.9 ^b	75.87 ± 2.8 ^c
Días de preparación	> 90	Confort	30	24.13 ± 2.7 ^{ab}	72.22 ± 2.9 ^c
		Alerta	16	19.31 ± 2.6 ^a	74.24 ± 4.6 ^c
		Peligro	47	26.38 ± 2.4 ^{ab}	62.32 ± 2.8 ^{bc}
		Emergencia	11	22.27 ± 4.4 ^{ab}	37.17 ± 6.6 ^a
	30-90	Seca	9	37.44 ± 8.1 ^b	54.62 ± 3.4
		Lluvia	7	37.85 ± 6.6 ^b	75.70 ± 3.3
		Seca	42	30.88 ± 3.5 ^{ab}	69.40 ± 2.3
		Lluvia	43	34.39 ± 3.3 ^b	68.44 ± 2.5
	> 90	Seca	42	23.07 ± 1.9 ^a	62.10 ± 2.6
		Lluvia	62	24.98 ± 2.1 ^a	65.87 ± 3.0
		Invierno	7	34.42 ± 10.2	51.55 ± 3.5 ^a
		Primavera	2	48.00 ± 2.0	65.40 ± 2.2 ^b
Estación	< 30	Verano	1	26.00 ± ***	68.42 ± ***
		Otoño	6	39.83 ± 7.5	76.91 ± 3.7 ^c
		Invierno	13	30.07 ± 3.6	63.08 ± 3.5 ^b
		Primavera	34	30.97 ± 4.2	72.38 ± 2.5 ^{bc}
	30-90	Verano	20	30.35 ± 4.7	62.26 ± 4.3 ^b
		Otoño	18	40.27 ± 5.8	73.96 ± 3.2 ^{bc}
		Invierno	20	21.70 ± 3.0	63.10 ± 3.5 ^b
		Primavera	22	24.31 ± 2.6	61.20 ± 3.9 ^b
	> 90	Verano	29	26.31 ± 3.8	52.77 ± 4.5 ^a
		Otoño	33	23.81 ± 2.2	77.38 ± 2.7 ^c

^{a,b} Diferentes superíndices entre filas de la misma columna son significativos (LSD de Fisher, $p < 0,05$).

*** No se obtuvieron donadoras bovinas en esta interacción.

La obtención de ovocitos por OPU es un método utilizado en la producción de embriones *in vitro* (Hernández-Ignacio *et al.*, 2023), la viabilidad del COCs es determinada a partir de la clasificación de sus características morfológicas (Calvo, 2004). El presente estudio muestra que el manejo analizado como índice tecnológico, alimentación y tiempo de preparación, influye en la cantidad de COCs; mientras que el ambiente influye en la viabilidad de los COCs. En este sentido, los factores abióticos como la temperatura, humedad, viento, lluvia, entre otros, influyen en la actividad reproductiva de las donadoras bovinas, mismos que afectan la implementación de las biotecnologías reproductivas (Díaz-Rivera *et al.*, 2011; Torres-Armas & Huayama, 2020; Kayser *et al.*, 2023; Thoriya *et al.*, 2024).

Por último, para obtener las ponderaciones de los coeficientes de correlación o asociaciones entre las variables de estudio (ambientales y manejo) con las variables del COCs (cantidad y viabilidad), se procedió a realizar un análisis multivariado; el primero de ellos de agrupamiento (Figura 4A) que tiene como finalidad mostrar en un dendograma (unión) el valor de asociación entre variables. Para la agrupación gráfica de los conglomerados (variables) se aplicó el método de Distancia City-Block (Manhattan) y amalgamados con el procedimiento de agrupamiento de pares no ponderados y normalizada mediante ([Distancia de Unión / Distancia Máxima]*100). Para la cantidad de COCs el valor ponderado de asociación con las variables de manejo fue de $r = 0.65$ ($p < 0.05$) y para la viabilidad con variables ambientales fue de $r = 0.75$ ($p < 0.05$). En la Figura 4B, se muestra el segundo análisis multivariado, análisis de componentes principales (factores, PCA), el cual tiene la finalidad de reducir la dimensionalidad (número de variables) y con ello agrupar aquellas que tiene mayor asociación y cuantificar la variabilidad explicada por los factores que para este modelo fue de $38.77 + 29.26 = 68.03\%$, Factor 1 (ambiente), Factor 2 (manejo), respectivamente.

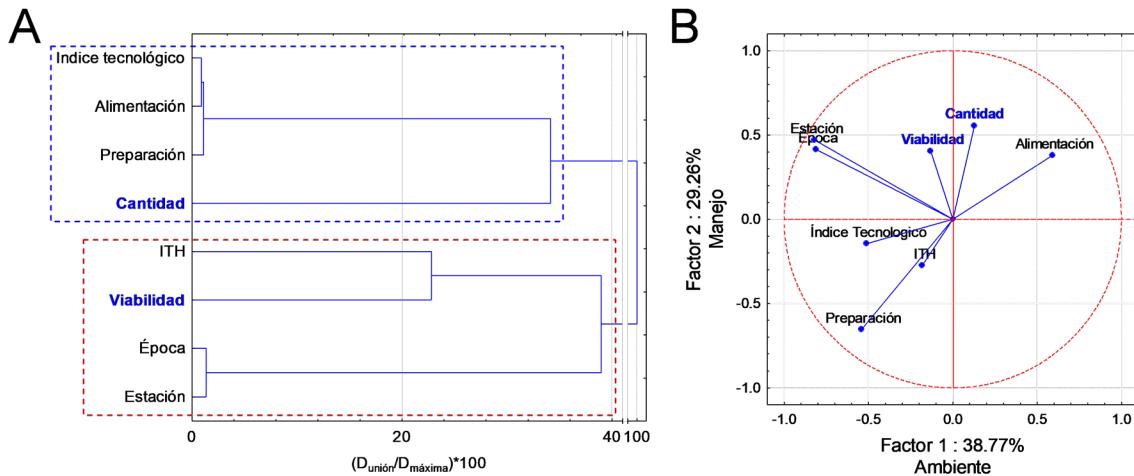


Figura 4. Análisis multivariado de asociación entre las variables ambientales y de manejo con las variables del COCs (cantidad y viabilidad).

A. Dendrograma de unión, donde se muestran los conglomerados (cuadros) de variables de manejo y ambientales con las variables del COCs. **B.** Análisis de componentes principales (PCA), donde se aprecian los vectores (líneas) con dirección y magnitud de cada variable y su valor de asociación; además, se muestra el valor total de la variabilidad $38.77 + 29.26 = 68.03\%$, Factor 1 (ambiente), Factor 2 (manejo), respectivamente.

Las altas temperaturas observadas en el presente trabajo (Figura 1), pueden provocar hipertermia y con ello reducir la actividad celular del aparato reproductivo de las BD, que se manifiesta en diversas afectaciones en su función; dicha alteración puede generar daños en el propio ovocito. Para Gutiérrez (2018), estas alteraciones se encuentran relacionados con un aumento de la actividad apoptótica del COCs y la producción de metabolitos, sustancias o moléculas reactivas a oxígeno en las células tanto en los compartimentos citoplasmáticos como nucleares, los cuales comprometen la calidad ovocitaria al dañar el DNA, por un aumento en los radicales asociados y con ello reducir la calidad de los ovocitos (Silva & Baruselli, 2012), dicha afectación se ha asociado con embriones de menor calidad durante el verano, al ser comparado con los evaluados en la época de invierno (Ferreira *et al.*, 2009; Hernández-Ignacio *et al.*, 2023). El presente trabajo muestra un mayor valor de la viabilidad del COCs en el otoño, cuando el THI se encuentra en la categoría de *comfort*, y baja calidad en invierno (Tabla 1) por la presencia del viento del norte que deshidrata al pasto y disminuye su calidad, como lo menciona Hernández-Ignacio *et al.* (2023).

En este sentido, la variabilidad ambiental (calor y frío) pueden generar alteraciones del desarrollo folicular y ello modifica el desarrollo embrionario (Vélez & Uribe, 2010). Se ha reportado que los ovocitos son afectados en su crecimiento y maduración, debido al aumento en el daño oxidativo y son sometidos a apoptosis celular cuando la BD se encuentra en estrés térmico (Hansen, 2009). Por otra parte, la tolerancia al calor se ha identificado y asociado con marcadores biológicos como el factor de transcripción de choque térmico (HSF) y las proteínas de choque

térmico como las HSP70, HSP90, HSP27 (Saravanan *et al.*, 2021). HSF y HSP funcionan como citoprotectores evitando la formación de proteínas no funcionales (Srikanth, 2017). Hernández-Ignacio *et al.* (2023) reportan que los embriones de menor calidad se incrementan en BD al ser expuesta al estrés térmico durante o después de la fertilización *in vivo*.

Para que un programa reproductivo obtenga mejores resultados, es recomendable que los ovocitos sean provenientes de una BD con una adecuada condición corporal, que depende de la nutrición, alimentación; así como de un manejo adecuado de las praderas (Tinco-Salcedo *et al.*, 2021). Se ha reportado que una BD con una condición corporal de 3 (escala 1 a 5), posee un mejor microambiente metabólico en los folículos que proveerá la formación de embriones de buena calidad (Velázquez, 2023). Una dieta balanceada con suficientes nutrientes esenciales puede mejorar la calidad ovocitaria y aumentar la tasa de ovulación; mientras que, al carecer de proteína suficiente en la dieta, confiere efectos negativos en la ovulación, cigoto y embrión (Restrepo-Mesa *et al.*, 2021); en este sentido, la suplementación con grasa de sobre paso previo a la OPU puede ayudar a proteger los ovocitos del daño oxidativo (Lucy, 2001); el presente trabajo muestra mejores resultados en la cantidad de COCs cuando las BD se prepararon con 90 días o menos antes de la OPU, cuando su periodo de preparación fue mayor a 90 días la cantidad fue menor; probablemente debido al incremento en la condición corporal (Kasimanickam *et al.*, 2020; Tinco-Salcedo *et al.*, 2021, Velázquez, 2023). Se ha reportado que el número de estructuras viables (COCs) y embriones transferibles es mayor en condición corporal de 2 a 4 que en condición de 1 (emaciada) o 5 (obesa), ya que se modifican algunos de los biomarcadores que determinan la viabilidad del ovocito como la insulina (Kasimanickam *et al.*, 2020). Por otra parte, se ha reportado que las BD con un balance energético negativo poseen periodos prolongados de anovulación y ovocitos de baja calidad (Turk *et al.*, 2015; Ninabanda, 2018). Los resultados del presente trabajo mostraron que el manejo modifica la recuperación obtenida de COCs y el ambiente influyen en la viabilidad del COCs. La variabilidad ambiental es un estresor abiótico; en especial la temperatura (Das *et al.*, 2016; Jaya *et al.*, 2016), la cual afecta a los bovinos a nivel productivo y reproductivo disminuyendo la ingesta de nutrientes y reducción de los niveles energéticos (Vélez & Uribe, 2010; Das *et al.*, 2016; Thoriya *et al.*, 2024). La combinación de estresores abióticos y una dieta inadecuada puede tener efectos negativos en la calidad del COCs (LeBlanc, 2004). En este sentido, cuando a la dieta se le añaden suplementos como vitaminas, concentrados, minerales, grasas, etc., en periodos mayores de 30 a 90 días, estos pueden funcionar como reguladores de la homeostasis, en especial de la temperatura. Del mismo modo, el estrés térmico influye en la perdida de minerales por el fluido corporal (sudor) por lo que, al haber un incremento de la temperatura hay una mayor demanda de sodio y potasio para termo regular (Das *et al.*, 2016), que conlleva a cambios en la homeostasis celular.

Conclusiones

El ambiente afecta la viabilidad del COCs; otoño y *comfort* térmico muestran mayores porcentajes de viabilidad; la cantidad de COCs es influenciada por el manejo, la alimentación y el tiempo de preparación de la BD de 30 a 90 días, muestran mejores resultados.

Contribución de los autores

“Conceptualización del trabajo: AZM, BDM, MBM; desarrollo de la metodología: BDM, MBM, AHB; manejo de software: AZM, BDM; validación experimental: MBM, VAM, AHB, BDM; análisis de resultados: AZM, BDM, MBM, ARA, PCA; Manejo de datos: AZM BDM, MBM, ARA JMMH; escritura y preparación del manuscrito: AZM, BDM, AHB, VAM; redacción, revisión y edición: AZM, BDM, MBM, VAM, AHB, PCA, ARA, JMMH; administrador de proyectos: BDM, MBM; adquisición de fondos: MBM, BDM.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada con fondos propios. El primer autor del manuscrito (Alondra Zavaleta Martínez) recibió una beca para sus estudios de Doctorado en Ciencias Agropecuarias del Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología CONAHCyT.

Declaraciones éticas

Los procedimientos de manejo e inmovilización efectuados en las hembras donadoras bovinas (DB) fueron evaluados y aprobados por el comité de bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Veracruzana, con número de folio: COBIBA011/2021.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología “CONAHCyT”. El autor Zavaleta-Martínez, A. Recibió beca de posgrado para estudiar el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

Absalón-Medina, V., Blake, R., Fox, D. Juárez-Lagunes, F., Nicholson. C., Canudas-Lara, E., & Rueda-Maldonado, B. (2012). Limitations and potentials of dual-purpose cow herds in Central Coastal Veracruz, Mexico. *Tropical Animal Health Production*. 44, 1131-1142. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-0049-1>

Aguiar, A., Vendramini, J., Arthington, J., Sollenberger, L., Sánchez, J., da Silva, W, Valente,

A., & Salvo, P. (2014). Stocking rate effects on 'Jiggs' bermudagrass pastures grazed by heifers receiving supplementation. *Crop Science*, 54(6), 2872-2879. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.02.0135>

Ahmed, J. A., Nashiruddullah, N., Dutta, D., Biswas, R. K., & Borah, P. (2017). Cumulus cell expansion and ultrastructural changes in in vitro matured bovine oocytes under heat stress. *Iranian journal of veterinary research*, 18(3), 203–207. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29163650/>

Arrieta-González, A., Hernández-Beltrán, A., Barrientos-Morales, M., Martínez-Herrera, D.I., Cervantes-Acosta, A., Rodríguez-Andrade, A., & Domínguez-Mancera, B. (2022). Characterization and technological typification of bovine dual-purpose system of the Huasteca Veracruzana Mexico. *Revista MVZ Córdoba*, 27(2), e2444. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2444>

Calvo, J., Pérez, V., Fila, D., & Campos, E. (2004). Evaluación de la viabilidad de ovocitos bovinos mediante la luteinización' 3-(4-5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazoliun bromid. *Veterinaria*, (Montevideo), 39(154), 7-10. <https://www.revistasmvu.com.uy/index.php/smvu/article/view/474>

Baruselli, P. S., de Sá Filho, M. F., Martins, C. M., Nasser, L. F., Nogueira, M. F., Barros, C. M., & Bó, G. A. (2006). Superovulation and embryo transfer in Bos indicus cattle. *Theriogenology*, 65(1), 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.10.006>

Bó, G. A., & Pincay, J. (2017). The role of oocyte competence in the reproductive success of cattle. *Theriogenology*, 87, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.09.009>

Cao, L., & Jiang, X. (2020). Environmental effects on oocyte quality and fertility in dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 218, 106400. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106400>

Cardone, A., Cáceres, R., Sanhueza, A., Bruna, A., & Laconi, R. (2022). Effects of short-term in vitro heat stress on bovine preantral follicles. *Livestock Science*. 254. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105076>

Cruz, H. A., Hernández, G. A., Chay, C. A. J., Mendoza, P. S. I., Ramírez, V. S., Rojas, G., Adelaido, R., & Ventura, R. J. (2017). Componentes del rendimiento y valor nutritivo de Brachiaria humidicola cv Chetumal a diferentes estrategias de pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(3), 599–610. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.34>

Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., Saikia, J., Imtiwati., & Kumar, R. (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary world*, 9(3), 260–268. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.260-268>

De Freitas W., & Pinheiro E. (2013). Nível tecnológico e seus determinantes na apicultura cearense. RPA. 22(3):32–47. <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/764/721>

Díaz-Rivera, P., Oros-Noyola, V., Vilaboa-Arroniz, J., Martínez-Dávila, J. P., & Torres-Hernández, G. (2011). Dinámica del desarrollo de la ganadería doble propósito en las Choapas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 191-199. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93915703018>

Ferreira, F., Pires, M., & Martinez, M. (2009). Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 61(4), 769-776. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352009000400002>

Galina, C., Turnbull, F., & Noguez-Ortiz, A. (2016) Factors Affecting Technology Adoption in Small Community Farmers in Relation to Reproductive Events in Tropical Cattle Raised under

Dual Purpose Systems. *Open Journal of Veterinary Medicine*, 6, 15-21. <http://doi:10.4236/ojvm.2016.61003>.

Galina, C.S., & Geffroy, M. (2023). Dual-Purpose Cattle Raised in Tropical Conditions: What Are Their Shortcomings in Sound Productive and Reproductive Function? *Animals*, 13, 2224. <https://doi.org/10.3390/ani13132224>

Gendelman, M., & Roth, Z. (2012). Seasonal effect on germinal vesicle-stage bovine oocytes is further expressed by alterations in transcript levels in the developing embryos associated with reduced developmental competence. *Biology of reproduction*, 86(1), 1–9. <https://doi.org/10.1093/biolreprod.111.092882>

González, F., & Salas, R. (2019). Impact of climatic factors on reproductive performance in tropical cattle. *Tropical Animal Health and Production*, 51(4), 657-664. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01926-5>

Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A., & Williams, A. G. (2018). Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal frontiers: the review magazine of animal agriculture*, 9(1), 69–76. <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>

Gutiérrez, A. M. (2018). Estrés calórico en la hembra bovina: cambios fisiológicos in vivo y modelo de estudio in vitro de ovocitos. [Tesis de Doctorado, Universidad de la república uruguaya, Doctor en ciencias veterinarias]. <https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/handle/123456789/1386>

Hansen, P. (2009). Effects of heat stress on mammalian reproduction. *Phil. Trans. R. Soc.* 3341–3350. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0131>

Hernández-Ignacio, J., Gonzalez-Gómez, R., & Mejia-Flores, I. (2023). Effect of climate on superovulatory response, quality and stage of embryonic development in tropical cattle. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 31, 57-60. <https://doi.org/10.53588/alpa.310511>

International Embryo Transfer [IETS]. (1998). Manual of the International Embryo Transfer Society. Stringfellow DA., Seidel SM (eds). USA: Ed. Savoy. 170 p

Jaya, B., Kumar, S., Sinha, B., Sinha, S., & Paswan, J. (2016). Focusing biotic stress in livestock, 3(11), 812-814. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.23341.82409>

Juárez-Barrientos, J. M., Herman-Lara, E., Soto-Estrada, A., Avalos-de la Cruz, D. A., Vilaboa, A. J., & Díaz-Rivera P. (2015). Tipificación de sistemas de doble propósito para producción de leche en el distrito de desarrollo rural 008, Veracruz, México. *Revista Científica*. 25(4):317-323. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95941173007>

Kayser, Y., Montiel, F., Severino, V., Canseco, R., Ahuja, C., Barrientos, M., & Molina, O., (2023). Caracterización tecnológica de ganaderos y su percepción sobre la transferencia de embriones en Guerrero, México. *Acta universitaria*, 33, e3745. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3745>

Kasimanickam, R., Kasimanickam, V., Kastelic, J. P., & Ramsey, K. (2020). Metabolic biomarkers, body condition, uterine inflammation and response to superovulation in lactating Holstein cows. *Theriogenology*, 146, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.006>

Kawano, K., Sakaguchi, K., Madalitso, C., Ninpatch, N., Kobayashi, S., Furukawa, E., Yanagawa, Y., & Katagiri, S. (2022). Effect of heat exposure on the growth and developmental competence of bovine oocytes derived from early antral follicles. *Scientific reports*, 12(1), 8857. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12785-2>

LeBlanc, S. J. (2004). Heat stress in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 87(7), 2175-2189.

Loss, F., Van Vliet, C., Van Maurik, P., & Kruip Th. A.M. (1989). Morphology of immature bovine oocytes. *Gamete Res*, 24, 197-204. <https://doi.org/10.1002/mrd.1120240207>

Lucy, M. C. (2001). The role of nutrition in controlling ovulation rate in cattle. *Journal of Animal Science*, 79(1), 300-311.

Morera, A., Velasco, E., Herán, S., Romero, J., & Ruiz, S. (2022). Respuesta a la estimulación ovárica mediante fsh (folltropin®) y rendimiento de OPU en vacas adultas obtenidas por diferentes técnicas de reproducción asistida. *Anales de Veterinaria Murcia*, 36, 1-17. <https://doi.org/10.6018/analesvet.538651>

Narváez, H., Fontes, R. da S., Campos de carcalho, B., Varella, R., Slade, C., & Dos reis, A. (2022). Efecto de la progesterona plasmática en la competencia para el desarrollo embrionario in vitro de vacas Bos taurus taurus y Bos taurus indicus. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2). DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2003

Ninabanda, J.J. (2018). Impacto del balance energético negativo en vacas lecheras tratadas con somatotropina recombinante bovina. *Revista veterinaria*, 29(1), 68-72. <https://dx.doi.org/10.30972/vet.2912794>

Orantes, Z. M. A., Vilaboa, A. J., Ortega, J. E., & Córdova, A. V. (2010). Comportamiento de los comercializadores de ganado bovino en la región centro del estado de Chiapas. *Revista que hacer científico*, 1(9), 51-56. https://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERSCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2010-ener-jun/5_QCCH_9_Comportamiento_de_los_comercial.pdf

Pérez, J. A., & Castillo, F. (2021). Nutritional management of bovine reproductive health in tropical regions. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 37(2), 307-321. <https://doi.org/10.1016/j.vcfa.2021.02.006>

Pérez-Mora, A., Segura-Correa, J. C., & Peralta-Torres, J. A. (2020). Factors associated with pregnancy rate in fixed-time embryo transfer in cattle under humid-tropical conditions of México. *Animal reproduction*, 17(2), e20200007. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2020-0007>

Restrepo-Mesa, S., Manjarres-Cor, I. & Parra-sosa B. (2021). *Alimentación y nutrición de la mujer en etapas de gestación y lactancia: De lo básico a lo aplicado*. 1 ed. Universidad de Antioquia. https://libros.udea.edu.co/index.php/editorial_udea/catalog/book/33

Ríos-Utrera, A., Villagómez-Amezcua, M. E., Zárate-Martínez, J. P., Calderón-Robles, R. C. & Vega-Murillo, V. E. Análisis reproductivo de vacas Suizo Pardo x Cebú y Simmental x Cebú en condiciones tropicales. *Rev MVZ Cordoba*. 2020; 25(1):e1637. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1637>

Roth, Z., Arav, A., Bor, A., Zeron, Y., Braw-Tal, R., & Wolfenson, D. (2001). Improvement of quality of oocytes collected in the autumn by enhanced removal of impaired follicles from previously heat-stressed cows. *Reproduction (Cambridge, England)*, 122(5), 737-744. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11690534/>

Roth, Z., & Hansen, P. J. (2004). Involvement of apoptosis in disruption of developmental competence of bovine oocytes by heat shock during maturation. *Biology of reproduction*, 71(6), 1898-1906. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.104.031690>

Roth, Z. (2020). Reproductive physiology and endocrinology responses of cows exposed to environmental heat stress - Experiences from the past and lessons for the present. *Theriogenology*, 155, 150-156. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.040>

Saizi, T., Mpayipheli, M., & Idowu, P. (2019). Heat tolerance level in dairy herds: a review on coping strategies to heat stress and ways of measuring heat tolerance. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 7, 39–51. <http://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v7n2p39-51>

Saravanan, K., Panigrahi, M., Kumar, H., Parida, S., Bhushan, B., Gaur, G., Dutt, T., Mishra, B., Singh, R. (2021). Genomic scans for selection signatures revealed candidate genes for adaptation and production traits in a variety of cattle breeds. *Genomics*, 113 (3), 955-963. <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2021.02.009>

Silva, L. O., & Baruselli, P. S. (2012). Effects of heat stress on reproductive function in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95(3), 861-875.

Srikanth, K., Kwon, A., Lee, E., & Chung, H. (2017). Characterization of genes and pathways that respond to heat stress in Holstein terneros through transcriptome analysis. *Chaper de estrés celular*. 22, 29–42. <https://doi.org/10.1007/S12192-016-0739-8>

StatSoft, Inc. (2011) STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 10. <http://www.statsoft.com>

Systat Software (2008). SigmaPlot V11, San Jose, CA. www.systatsoftware.com

Torres-Armas, E., & Huayama, P. (2021). Factores estructurales y funcionales de la ganadería de bovinos doble propósito de Molinopampa, Amazonas. *Revista de investigación Agropecuaria Science and biotechnology*. 1(1), 23-24. <https://doi.org/10.25127/riagrop.20211.661>

Turk, R., Podpecan, O., Mrkun, J., Flegar-Mestric, Z., Perkov, S., & Zrimsek, P. (2015). The Effect of Seasonal Thermal Stress on Lipid Mobilisation, Antioxidant Status and Reproductive Performance in Dairy Cows. *Reproduction in domestic animals*, 50, 595-603. <https://doi.org/10.1111/rda.12534>

Thoriya, A., Bhoi, D., Patel, M., Kumar, A., & Raval, K. (2024). Effect of stress on dairy animal reproduction. *Journal of livestock science*, 15, 276-284. <https://doi.org/10.33259/JLivesSci.2024.276-284>

Tinco-Salcedo, J., Quispe-Gutiérrez, U., & Zea-Gonzales, D. (2021). Asociación entre calidad de ovocitos recuperados y condición corporal en vacas criollas. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(3), 133-138. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2021.294>

Velázquez, M. A. (2023) Nutritional Strategies to Promote Bovine Oocyte Quality for In Vitro Embryo Production: Do They Really Work?. *Vet. Sci.* 10(10), 604. <https://doi.org/10.3390/vetsci10100604>

Vidal-Zepeda, R. (2005). Las Regiones Climáticas de México. Instituto de Geografía UNAM. 210

Vilaboa, A.J., & Díaz, R.P. (2009) Caracterización socioeconómica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. *Zootecnia Tropical* 27(4): 427-436. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692009000400008

Vélez, M. M., & Uribe, V. L. F. (2010). ¿Cómo afecta el estrés calórico la reproducción? *Biosalud*, 9(2), 83–95. <https://revistasoj.sucaldas.edu.co/index.php/biosalud/article/view/5505>

Wu, B., & Zan, L. (2012). Enhance beef cattle improvement by embryo biotechnologies. *Reproduction in domestic animals* *Zuchthygiene*, 47(5), 865–871. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2011.01945.x>

Zavaleta-Martínez, A., Barrientos-Morales, M., Alpírez-Mendoza, M., Rodríguez-Andrade, A., Cervantes-Acosta, P., Hernández-Beltrán, A., Avedaño-Reyes, L., & Domínguez-Mancera, B. (2024). Effect of heatwaves on the pregnancy rate of dual-purpose recipient cows transferred with produced in-vitro embryos in tropical locations. *Multidisciplinary Science Journal*, 6(7), 2024103. <https://doi.org/10.31893/multiscience.2024103>