



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Variaciones reproductivas en cerdas debidas al estrés calórico.

TESIS

Que para obtener el grado de
Médico Veterinario y Zootecnista

PRESENTA
CARLOS ALBERTO ALTAMIRANO FERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS
DR. NESTOR MENDEZ PALACIOS

CODIRECTORES DE TESIS
MVZ. Fátima Matamoros González.
MVZ. Guadalupe Edgar Beltrán Rosas.

Tecamachalco, Puebla, febrero 2025

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la Virgencita de Guadalupe por darme la fuerza y la sabiduría necesaria para completar esta etapa en mis estudios, bendecido por su gracia divina y agradecido por permitirme compartir mi conocimiento y contribuir al campo de estudio que tanto amo.

A mis padres, la Mtra. Maricela Fernández Báez, el Ing. Gregorio Altamirano Peralta, quienes a lo largo de sus vidas me han inculcado la cultura del trabajo, estudio, responsabilidad, y perseverancia, valoro mucho las lecciones de vida que me han impartido, de igual forma por el amor inmenso y apoyo incondicional que siempre me han brindado, en verdad que es un privilegio tenerlos como padres, siendo los pilares de mi vida, gracias por ser los mejores padres del mundo, los amo.

Mi querida hermana, Lft. Yesenia Altamirano Fernández, tu ejemplo como hermana mayor, siempre ha sido fenomenal, motivándome a dar lo mejor de mí en cada paso de mi vida académica, de igual forma en la vida, con tu apoyo incondicional, en los momentos más bonitos y en los más malos, siendo un pilar más en mi vida, sabiendo que pase lo que pase, siempre estará ahí, mi hermana mayor, no me queda más que agradecerte, por creer en mí y por ser mi hermana, te amo.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Dr. Néstor Méndez Palacios, por su ayuda invaluable durante la realización de mi tesis, su experiencia y orientación fueron fundamentales para llevar a cabo un trabajo de calidad, su dedicación y compromiso con mi proyecto, junto con su habilidad para guiar mis ideas y dar forma a mis investigaciones, fueron esenciales para llevar mi trabajo a buen término, por último agradecer por su amistad, que es lo más valioso, que me brindo desde el día uno que lo conocí, muchas gracias Doctor.

Me gustaría mostrar mi más sincero agradecimiento a todos los Docentes, Médicos y personas que han sido parte de mi camino universitario, a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí, siendo una pieza importante en mi experiencia laboral, siendo siempre amables, motivadoras y convirtiéndose en grandes amistades, que guardo en el corazón para siempre.

Agradecerles a mis compañeros, que muchos se convirtieron en amigos, cómplices y hermanos. Gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas”.

Por último, agradecer el día de mi vida, que conocí al actor intelectual que me guio para decidirme escoger mi carrera de M.V.Z, mi fiel amigo peludo, Toby, que fue un compañero incondicional, en los buenos tiempos y en los malos, mi hogar se volvió un lugar cálido, su amor y compañía son invaluables para mí y para mi familia, la cual formo un pilar para nosotros, convirtiéndose en uno de nosotros, Eres un tesoro en mi vida, te amo amigo.

Índice

I.	Introducción.....	1
II.	Antecedentes.....	2
2.1	Porcicultura.....	2
2.2	Raza Landrace.....	2
2.3	Estrés térmico.....	3
2.4	Índices de Estrés en Cerdos	4
2.4.1	Índice de Temperatura Humedad (ITH).....	4
2.4.2	Índice de Temperatura Equivalente para Cerdas (ETIS).....	4
2.4.3	La Temperatura Efectiva (ET).....	5
2.4.4	Índice de Estrés Ambiental (ESI).....	5
2.5	Respuesta conductual.....	5
2.6	Respuesta hormonal.....	6
2.7	Detección de celo.....	6
2.8	Parámetros reproductivos.....	8
2.8.1	Porcentaje de fertilidad.....	8
2.8.2	Porcentaje de anestros.....	9
2.8.3	Porcentaje de mortinatos.....	9
2.8.4	Porcentaje de bajo peso.....	9
2.8.5	Promedio de lechones nacidos vivos.....	9
2.8.6	Porcentaje de momificados.....	9
2.8.7	Promedio de partos.....	10
2.8.8	Peso promedio destete.....	10
2.8.9	Edad destete.....	10
2.8.10	Porcentaje de abortos.....	10
2.8.11	Parámetros reproductivos y productivos.....	10
III.	Justificación	12
IV.	Objetivos.....	12
V.	Material y Métodos.....	12
VI.	Resultados y Discusión.....	16
VII.	Conclusión.....	26
VIII.	Referencias.....	26

RESUMEN

El estrés por calor compromete parámetros reproductivos y de producción, los cerdos sometidos a este tipo de estrés reducen el consumo voluntario y modifican su metabolismo energético. En las hembras provoca un balance energético negativo afectando su desempeño reproductivo al incrementar el intervalo celo o intervalo destete – cubrición fértil, disminuye la tasa de gestación, tasa de partos, tamaño y peso de la camada al nacimiento y peso al destete. Se utilizó información estadística de hembras del área de gestación de una granja porcina de ciclo completo, ubicada en el valle de Tehuacán, Puebla. Los índices de estrés que se emplearon fueron; Índice de Temperatura humedad, Índice de Temperatura Equivalente para Cerdas, Temperatura Efectiva e Índice de Estrés Ambiental, los valores más altos oscilaron entre los meses de mayo a julio de los años evaluados (2016 a 2023). Los cerdos cuando son expuestos a valores altos les genera estados de emergencia por lo que en nuestro caso los animales solo durante ese periodo presentaron alteraciones por estrés calórico. La relación entre los diferentes índices muestra valores muy similares, sobre todo con el Índice de Estrés Ambiental lo que indica que es el índice que nos da de manera más exacta los niveles de estrés en relación con los parámetros de repeticiones y retrasos, días abiertos, promedio de peso al nacer, peso tabla destete, consumo de alimento por cerda por día y peso tabla engorda, que presentaron un valor de correlación altamente significativo ($p<0.01$). Finalmente podemos decir que la termotolerancia de los cerdos y el diseñar manejos adecuados hacen que los cambios sean menos agresivos para los animales, lo que puede mejorar los parámetros de la granja.

Palabras clave: Estrés por calor, cerdos, temperatura, humedad

I. INTRODUCCIÓN

El estrés es la respuesta biológica a eventos que el individuo percibe como amenaza para su homeostasis, esta comúnmente relacionado con una mayor actividad del eje hipotálamo-pituitario-adrenal (HPA) y la activación del Sistema Simpático Adreno-Medular (Joseph, et al., 2017), la activación del eje HPA da como resultado la liberación de una variedad de péptidos, principalmente hormona liberadora de corticotropina (CRH) y vasopresina desde el hipotálamo; la secreción de CRH estimula la liberación de la hormona adrenocorticotropa (ACTH) y beta-endorfinas (Joseph, et al., 2017). La ACTH induce la secreción de corticosteroides de la corteza suprarrenal, provocando también la liberación de progesterona, posiblemente prostaglandina F_{2α} e incluso inhibina α, en donde es permisiva en la respuesta metabólica del estrés, haciendo sinérgica su acción como los glucocorticoides al estimular la lipólisis y la gluconeogénesis, actuando de la misma manera, lo que conduce a un aumento del metabolismo que promueve la capacidad de afrontar el estrés; la activación del Sistema Nervioso Simpático (SNS) y la medula suprarrenal provocan la liberación de catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) en el torrente sanguíneo, lo que ocasiona aumento en el suministro de glucosa, al acelerar la degradación del glucógeno hepático (Acosta, 1996).

El estrés prolongado o crónico suele dar lugar a la inhibición de la reproducción, mientras que los efectos del estrés transitorio o agudo en ciertos casos son estimulantes (por ejemplo, anestro). El efecto del estrés sobre la reproducción dependerá de la duración del evento estresante, la predisposición genética y el tipo de estrés al que este sometido el cerdo (Behrens, et al., 1993). El estrés por calor es uno de los mayores impedimentos para la producción animal eficiente, en México es escasa la información sobre dicho tema, tan solo en la industria ganadera de los EUA se estima que las pérdidas económicas anuales asociadas con el estrés por calor se acercan a los \$1,500 millones de USD para los productos lácteos y a los \$1,000 millones en el caso de la industria porcina (Key, et al., 2014). Por tal motivo determinar el efecto del estrés por calor sobre las características reproductivas en cerdas es de importancia para mejorar su bienestar y aportar nueva información respecto al tema.

II. ANTECEDENTES

2.1 Porcicultura

La producción de carne de cerdo puede llevarse a cabo en casi cualquier parte del mundo y con todas las condiciones climáticas; sin embargo, se debe tener especial cuidado cuando son producidos en climas extremos que pueden ser de frío o de calor. Los cerdos son animales homeotermos y su consumo de alimento está influenciado por el ambiente en el cual están siendo criados (Fonseca, et al., 2015). Sin importar la etapa productiva, al exponerse a temperaturas por arriba de su punto de confort, genera un déficit en su crecimiento y por lo tanto una pérdida económica por parte del porcicultor.

Durante el primer tercio de gestación, las cerdas son especialmente susceptibles al estrés calórico, impactando seriamente a la tasa de concepción y reducción en el tamaño de la camada, debido a que en estas condiciones hay reducción en la concentración de progesterona circulante entre los 13 y 19 días de preñez, además de un efecto luteíntico hasta el día 25 de la gestación. Por otro lado, el estrés calórico puede causar una reducción del tejido embrionario produciendo perdidas embrionarias (Falceto, et al., 2014).

Las alteraciones reproductivas en los cerdos, causadas por el cambio climático, principalmente el calor, se presentan de manera común. La porcicultura es una actividad importante en México, proporcionando una de las principales fuentes de proteína para la población mexicana, por detrás del pollo, el cerdo es la segunda carne más consumida en el país (SENASICA, 2021).

2.2 Raza Landrace

- **Origen:** La raza Landrace es originaria de Dinamarca, tuvo su origen mediante la unión de las cerdas locales con verracos large white importados de Inglaterra. Esta raza ha sido mejorada en Inglaterra y más recientemente en Estados Unidos donde a partir de 1950 se le ha mezclado nueva sangre de cerdos Landrace de Noruega, Dinamarca y Suecia con el fin de proporcionarle al Landrace americano una base genética más amplia (Trujillo, et al., 2012).
- **Características físicas:** Son animales de tamaño medio, color blanco (Trujillo, 2012).
- **Cabeza:** ligera de longitud media, perfil recto, con tendencia a la concavidad correlativa a la edad con un mínimo de papada.

- Orejas: Largas inclinadas hacia delante y sensiblemente paralelas a la longitud de la cabeza, generalmente les tapan los ojos.
- Cuello: Ligero y de longitud media.
- Espalda: De proporciones medias, firmes y bien adheridas al tronco.
- Dorso y Lomo: De gran longitud, ligeramente arqueado en el sentido de la misma sin depresiones en la unión con la espalda, ni el lomo; anchura notable y uniforme.
- Lomo: Fuerte y ancho, sin deficiencias musculares ni depresiones.
- Tórax: Firme, de paredes compactas, costillas bien combadas, presentan 17 pares frente a 14 de otras razas.
- Abdomen: Lleno, con línea inferior recta, con un mínimo de doce pezones, regularmente colocadas.
- Grupa: De longitud media, ancha, perfil recto y ligeramente inclinado hacia la cola.
- Nalga y muslos: Muy anchos, llenos y redondeados, tanto en sentido lateral como la parte posterior, descendiendo hasta el corvejón.
- Cola: implantada, razonablemente alta.
- Pelaje: Blanco, cerdas suaves y finas.

2.3 Estrés Térmico

Los animales homeotermos son capaces de vivir en diferentes condiciones medioambientales, manteniendo la temperatura corporal dentro de un rango gracias al calor metabólico que producen, cuando el animal mantiene constante su temperatura corporal sin utilizar energía extra, se dice que está en "zona termoneutral" que se define como el rango de temperatura ambiental en el que los animales no necesitan ajustar la ganancia o pérdida de calor metabólico (Renaudeau, et al., 2012).

Los animales estabulados en jaulas pueden alcanzar temperaturas alrededor de 25°C y una humedad de 65%, sin embargo, lo ideal, es no sobrepasar los 20°C y de humedad del 40% y 55% (Muns, et al., 2016).

El estrés por calor (EC) compromete parámetros reproductivos y de crecimiento. Los cerdos sometidos a estrés por calor, reducen el consumo voluntario y modifican su metabolismo energético provocando la reducción en la ganancia diaria de peso (GDP) y un incremento en la acumulación de grasa subcutánea (Liu, et al., 2022).

En la cerda provoca un balance energético negativo afectando su desempeño reproductivo al incrementar el intervalo celo posdestete o Intervalo destete – cubrición fértil (IDCF) , disminuir la tasa de gestación, tasa de partos, tamaño prolíficidad, peso de la camada al nacimiento y peso al destete, muchas de las consecuencias negativas del EC parecen estar mediadas por la hiperpermeabilidad de la barrera intestinal, provocando cambios fisiológicos como el reparto de

nutrientes hacia un sistema inmunológico activado y efectos adversos en los ovarios a través de la señalización elevada de endotoxinas e insulina, que resultan en fallas en la función reproductiva de la cerda (Liu, et al., 2022). Los cerdos carecen de glándulas sudoríparas funcionales, por lo que no tienen una forma eficiente para mantenerse ellos mismos frescos. Estos animales también tienen pulmones relativamente pequeños para el tamaño de su cuerpo, lo que les dificulta eliminar el exceso de calor interno a través de la respiración (Liu, et al., 2022). Algunos síntomas del estrés calórico son:

- Aumento de la frecuencia respiratoria (jadeo).
- Contacto con superficies más frescas (piso de cemento, superficies mojadas, etc.).
- Incremento en la circulación sanguínea.
- Disminución de la actividad.
- Consumo excesivo de agua y perdida creciente de electrolitos.
- Tendido de suelo, a menudo separados de otros.

En lo relativo a las cerdas gestantes, se ha demostrado que el estrés por calor implica un efecto negativo en el peso al nacimiento de los lechones, una disminución de la ganancia media diaria y una alteración en la eficiencia reproductiva en el siguiente ciclo (Johnson, et al., 2020). Posteriormente, en el momento del parto, veremos temperaturas rectales más elevadas y una mayor frecuencia respiratoria, alterando el bienestar de la cerda, la disminución en el consumo de alimento, junto con la consiguiente disminución en la producción de leche, implica un incremento de mortalidad en la fase de lactación y un bajo crecimiento de los lechones, que se destetarán en pesos subóptimos, implicando una baja viabilidad en las siguientes fases.

2.4 Índices de Estrés en Cerdos

2.4.1 Índice de Temperatura Humedad (ITH)

El Índice de Temperatura Humedad es una medida que combina los efectos de la temperatura ambiental y la humedad relativa para evaluar el nivel de estrés térmico en los animales, inicialmente fue desarrollado para ganado bovino por Ingraham en 1971, pero su aplicación es apta para cualquier especie productiva. Mader et al., 2006 lo adapto para la producción porcina siguiendo los mismos parámetros de estrés.

2.4.2 Índice de Temperatura Equivalente para Cerdas (ETIS)

Es un índice térmico desarrollado específicamente para evaluar el confort térmico de las cerdas, considera varios factores ambientales que las afectan; como la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del aire, la conducción de calor del suelo y la radiación (Cao et al., 2021). El ETIS se calcula ajustando estos factores para obtener una temperatura equivalente que refleja mejor cómo las

cerdas perciben el calor del entorno, es útil ya que proporciona una medida precisa del estrés por calor en cerdas, con la finalidad de mejorar las condiciones en las granjas y reducir el impacto negativo en la salud y productividad (Cao et al., 2021).

2.4.3 La Temperatura Efectiva (ET)

Fue introducida por Houghton y Yaglou en 1923 para determinar los efectos relativos de la temperatura del aire y la humedad en el confort de humanos. La ET considera la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento, proporcionando una temperatura equivalente que refleja cómo se percibe el calor en diferentes condiciones meteorológicas (Houghton y Yaglou, 1923).

2.4.4 Índice de Estrés Ambiental (ESI)

Se diseño para evaluar el estrés por calor, como una alternativa al Índice de Temperatura de Globo Húmedo (WBGT). El ESI se basa en mediciones sencillas y precisas de temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar (Moran et al., 2001). Dado que el ESI se correlaciona altamente con el WBGT ($R^2 > 0.981$), los valores de referencia del WBGT por lo regular son utilizados como guía aproximada para interpretar el ESI (Moran et al., 2001).

2.5 Respuesta Conductual

El cerdo (*Sus scrofa domesticus*) tiene un amplio repertorio conductual, es una especie altamente sociable, curiosa, diurna, con alta motivación por explorar, con un complejo sistema de comunicación, es una especie muy sensible a los cambios en el medio ambiente y a las alteraciones sociales, crean jerarquías para acceder a recursos valiosos como agua, alimento y espacio para descansar (Acosta, 1996).

Los cerdos de un grupo forman jerarquías con el fin de estabilizar el grupo y promover la asignación de recursos haciendo innecesarias las peleas de forma que los animales dominantes aseguren primero el acceso a los recursos (Gonyou, et al., 2001).

Sin embargo, en granjas con alta densidad animal, se opta por usar corrales para ahorrar espacio y costos, se acostumbra cambiar continuamente a los cerdos de corral para homogenizar los grupos por peso y es frecuente observar peleas, a veces con heridas considerables (Arey, et al., 2006). En relación con las conductas activas, estas incluyen: comer, beber, defecar y orinar. En tanto que las conductas no activas son: descansar y dormir.

2.6 Respuesta Hormonal

La cerda es un animal poliéstrico que en condiciones favorables manifiesta su actividad sexual a lo largo de todo el año. Su ciclo estral es de unos 21 días, de acuerdo con los cambios que tienen lugar tanto en sus manifestaciones internas como externas se divide en cuatro fases: proestro, estro, metaestro y diestro (Peltoniemi, et al., 2005).

- Proestro: Esta fase dura 2 días y las hembras comienzan a montarse entre sí, sin aceptar al macho. Se presentan síntomas externos como edema vulvar y secreciones. En algunas hembras esta fase se puede alargar excesivamente hasta por 5 ó 7 días, internamente se desarrolla el folículo terciario en el ovario, incrementándose la secreción estrogénica e iniciándose la preparación de los órganos tubulares y de la vulva (Peltoniemi, et al., 2005).
- Estro: Dura de 2 a 3 días, existiendo edema vulvar, pueden presentarse secreciones mucosas en la comisura de la vulva, la hembra gruñe con frecuencia, come poco y se muestra inquieta, se puede mostrar agresiva y lo más característico es el reflejo de inmovilidad o de quietud, el cual es aprovechado para la monta o inseminación artificial. Entre 26 y 40 horas de haber comenzado el celo debe ocurrir la ovulación, es la fase más importante del ciclo estral porque es el momento en que se realiza el apareamiento (Peltoniemi, et al., 2005).
- Metaestro: Esta fase dura alrededor de 7 días momento en que se organiza el cuerpo lúteo y comienza la producción de progesterona (Peltoniemi, et al., 2005).
- Diestro: Dura alrededor de 9 días y se produce progesterona y si no ocurre la gestación al final comienza la regresión del cuerpo lúteo disminuyendo el nivel en progesterona circulante en sangre, comenzando la maduración de nuevos folículos y con ello el inicio de un nuevo ciclo (Peltoniemi, et al., 2005).

2.7 Detección de celo

La duración promedio del ciclo estral de la cerda es de 21 días, sin embargo, Repetidora Regular (RR) presentan celos entre 18-23 días y Repetidora Irregular (RI) celo después de los 25-35 días (Beltrán Rosas 2024) comentario personal.

Los signos principales del celo son:

- Vulva edematizada (más en nulíparas que en multíparas).
- Producción de moco transparente.
- Reflejo de inmovilidad ante el semental o a la prueba de cabalgue (lordosis).
- Levanta las orejas al estímulo.

También existen signos complementarios como son:

- Clítoris aplanado y alargado.
- Mas activa (puede pararse sobre las puertas y paredes).
- Presenta un periodo de gruñidos y vocalizaciones.
- Monta a otras hembras.
- Mueve la cola a un lado de la vulva para permitir la monta.
- Cerdas nulíparas: La edad de inicio de la actividad sexual en la cerda es alrededor de los 180 días y es cuando tenemos que iniciar el proceso de estimulación con sementales para provocar una respuesta eficaz (Kemp, et al., 2012).

Es muy importante que el primer servicio sea cuando la hembra haya presentado su cuarto celo y de preferencia se encuentre por arriba de los 140-160 kg de peso y una edad de 210 días o más dependiendo de la línea genética que se maneje, para garantizar que la hembra se encuentra fisiológicamente apta y tenga un desempeño adecuado y mayor longevidad (Kemp, et al., 2012).

- Cerdas destetadas: La detección del celo deberá ser iniciado el mismo día del destete, si se desteto en la mañana, por la tarde se debe de presentar al macho celador (Terry, et al, 2013). La presentación del celo en cerdas destetadas en promedio se presenta después de las 96 horas posteriores al destete, sin embargo, puede haber hembras que inicien con el celo desde las 72 horas o después de las 120 - 144 horas, existen otras hembras que no presentarán celo en este periodo y pueden ser cerdas que tengan una baja condición corporal y que sea esta la razón por lo que presentan anestro o celo retrasado (Terry, et al., 2013).
- Cerdas con buena condición corporal.

Condición corporal 1 (cc1): Cerda emaciada, la columna es muy prominente y visible a simple vista.

Condición corporal 2 (cc2): Cerda flaca, la pelvis y los huesos de la columna vertebral son visibles y se aprecian fácilmente a la palpación.

Condición corporal 3 (cc3): Ideal, la pelvis y los huesos de la columna vertebral no son visibles y se aprecian con dificultad mediante la palpación.

Condición corporal 4 (cc4): Cerda gorda, pelvis y los huesos de la columna vertebral sólo se aprecian haciendo gran presión con la palma de la mano. Contorno en forma de tubo.

Condición corporal 5 (cc5): Cerdas muy gordas, no es posible detectar los huesos de la pelvis o la columna.

- Cerdas retrasadas: Una cerda que ha tardado en presentar celo, es una cerda que no se encuentra en las mejores condiciones reproductivas, por lo que será necesario considerar la pérdida de peso y condición corporal durante la lactación, y se necesitará tomar medidas nutricionales adicionales (alimentación a libertad) y posiblemente la aplicación de Gonadotropina Coriónica Equina + Gonadotropina Coriónica Humana (EcG + HcG) inyectable para reactivar el ciclo estral de la cerda, que con mucha seguridad podría estar en anestro (Kraeling, et al., 2015).

Por lo anterior si se observan cerdas que vienen con baja condición corporal y para evitar que estas presenten anestro post-destete, se puede implementar la medida de administrar Altrenogest (progestágeno oral) por una semana, iniciando un día antes del destete, para que en la semana que ya no tienen lechones se pueden recuperar en su condición corporal y al dejar de administrar el altrenogest, presentará celo 4 a 6 días después (Kraeling, et al., 2015).

El uso de Progestágenos orales permite llevar a cabo con su utilización lo siguiente:

- Sincronización de celos en cerdas nulíparas y multíparas.
- Recuperación de la condición corporal (cc) en cerdas que terminan su etapa de lactación.
- Complemento del periodo de gestación.
- Formación de bandas de producción.

2.8 Parámetros Reproductivos

Las granjas porcinas reciben diversas clasificaciones respecto al grado de tecnificación, que en conjunto con el diferente manejo que se realiza en cada una de ellas, llegan a afectar los parámetros reproductivos.

2.8.1 Porcentaje de fertilidad

Es el número de cerdas que quedan gestantes, expresado en porcentaje, se suele intentar conseguir una tasa de gestación de entre un 87% a un 95% (García, et al., 2008).

2.8.2 Porcentaje de anestros

Cantidad de cerdas que no han salido en celo después del destete. Podemos diferenciarlos en 3: anestros de menos de 21 días, de más de 45 y porcentaje de anestros de cerdas de 2º ciclo. Consideramos que el máximo de anestros debe de ser un 7%. (García, et al., 2008).

2.8.3 Porcentaje de mortinatos

Más del 50% de las muertes de los lechones que ocurren en el período de lactación se registran durante los primeros tres días de vida (correspondiendo este período a la mortalidad neonatal) y, sobre todo, durante las primeras 36 horas (Bille, et al, 1974). Dentro de las muertes neonatales, la categoría mortinatos (MN) incluye a los lechones que nacen muertos, de los cuales el 70 % suele coincidir con los tres últimos lechones nacidos en un parto (English y Morrison, 1984).

El término neonatal se utiliza para los lechones en las primeras cuatro semanas de vida, durante este período los mamíferos neonatos tienen como principal fuente nutricional la leche materna (Beltrán Rosas et al., 2011) comentario personal.

2.8.4 Porcentaje de bajo peso

Considerando que los lechones al nacimiento, con menos de 1.3 kg (bajo peso), son considerablemente más susceptibles al frío, a enfermedades, y son menos competitivos socialmente en grupo, esto es consecuencia de su menor inmadurez fisiológica (Chris et al., 2012), de hecho, se recomiendan manejos especiales para aumentar su supervivencia en las primeras dos semanas.

2.8.5 Promedios de lechones nacidos vivos

Se suman todos los lechones nacidos durante un período y se divide entre el número de partos, durante este período, (Un parto es válido cuando el número de nacidos vivos es mayor a uno o los días de gestación son mayores o iguales a 109) (Berruecos, 2010).

2.8.6 Porcentaje momificados

Las momias son fetos que mueren entre el día 35 y pocos días antes de llegar a término, poseen una gama de color desde descoloridos a verde oscuro, y están deshidratados debido a la absorción, son normales en las explotaciones hasta una tasa del 1% (Berruecos, 2010).

2.8.7 Promedio de partos

La cerda tiene uno de los ciclos reproductivos y productivos más rápidos de las especies domésticas, el reducido intervalo entre partos, 142 a 149 días en condiciones de producción comercial, con lactancia de 21 ó 28 días, lo cual permite obtener alrededor de 2,4 partos/año. El número de partos depende de la planeación de los ciclos de producción, del intervalo de parto y la duración de la lactancia, estos parámetros pueden variar de 143 días y 21 días de lactancia (González, 2004).

2.8.8 Peso promedio destete

El peso ideal al destete está entre 6,0 y 7,2 kg, los cuales son muy parecidos a los promedios de los pesos de los lechones en jaulas tradicionales y tecnificadas (Roppa, L., 2003). La duración del periodo de lactancia de los lechones está íntimamente relacionada con el peso de los lechones al momento del destete (Beltrán et al, 2011).

2.8.9 Edad destete

Se considera que entre los 17 y 21 días en promedio los cerdos están listos para empezar el destete (Rendón et al., 2017). Sin embargo, esta edad puede aumentar en producciones que tengan más dificultades para alcanzar el peso ideal y la fisiología requerida para el destete, en algunas granjas de pequeña escala este destete se recomienda después de los 28 días promedio ya que los lechones requieren de más tiempo para alcanzar el peso ideal (Rendón et al., 2017).

2.8.10 Porcentaje de abortos

Número de abortos que han ocurrido después de los 28 días de gestación (García, et al., 2008), que se va a comparar con la tasa de parición de la granja.

2.8.11 Parámetros reproductivos y productivos

Para determinar de manera eficiente la eficiencia de la granja se evalúan indicadores que nos permiten medir el desempeño de los animales, ya sea en términos de su capacidad reproductora y para tener descendencia o en cuanto a la cantidad y calidad de los productos que generan. En el cuadro 1 se muestran algunos de los parámetros productivos y reproductivos más importantes.

Cuadro 1. Promedios ideales de parámetros reproductivos y productivos.

VARIABLE	PROMEDIO IDEAL
REPETICIONES Y RETRASOS (%)	≤ 8%
DÍAS ABIERTOS (PROMEDIO)	146 ± 0,83
FERTILIDAD (%)	87%±95%.
LECHONES NACIDOS VIVOS (%)	10,02%
MORTINATOS (TOTALES)	5%
MOMIAS (TOTALES)	1±3%
SACRIFICADOS (PROMEDIO)	± 10%
TOTAL DE LECHONES NACIDOS VIVOS (%)	13,16
LECHONES NACIDOS TOTALES (LNT) (%)	10% ± 15%
PROMEDIO LNV (PROMEDIO)	14,81
MUERTOS (TOTALES)	5,05
MOMIAS (TOTALES)	1.5%
(PROMEDIO) DE BAJO PESO	< 1kg
PROMEDIO LNT (PROMEDIO)	16,07
PESO AL NACER (KG, PROMEDIO)	1,47 ± 0.05
PROMEDIO PARTOS (PROMEDIO)	2,4
LECHONES DESTETADOS (%)	10.6%
PROMEDIO DESTETE (PROMEDIO)	22 ± 26
MORTALIDAD (TOTALES)	≤ 7%
TOTAL AL DESTETE (TOTALES)	13,16
PESO PROM DESTETE (PROMEDIO)	5.5 kg ± 0.407
EDAD AL DESTETE (PROMEDIO)	21 ± 28 días
PESO TABLA DESTETE (KG, PROMEDIO)	6,0 ± 7,2 kg
ALIMENTO (KG)	2.2 kg ± 2.6 kg
ALIMENTO/ CERDA/DIA (KG)	2 a 2,25 kg/día
LNV/HEMBRA/AÑO (TOTAL)	22 ± 26
LECHON/DESTETE/AÑO (%)	19,8 ± 0,33
LNT POR HEMBRA/AÑO (%)	28 ± 30
MORTALIDAD EN DESTETE (TOTALES)	10±12%
EDAD PROMEDIO AL DESTETE PARA PASAR A LA ENGORDA (PROMEDIO)	19,85
NUMERO LECHONES DESTETE ENGORDA	31,77
PESO TOTAL (KG, TOTALES)	100 ± 130kg
PESO PROMEDIO ENGORDA (KG, PROMEDIO)	90 ± 100 kg
PESO TABLA A ENGORDA (KG)	110 kg
MORTALIDAD ENGORDA (%)	5% ± 10%
ABORTOS (%)	≤ 2%

(Hernández, et al., 2018), (Bautista, 1993.), (Bello, 2000), (Amo, 2018), (Campion, 2013), (Cao, et al., 2021), (Chauhan et al., 2014), (FAO 2004), (Gutman et al., 2021), (INEGI, 2015), (Myriam, et al., 2018), (Parsons, 1995), (Price, et al., 2019), (Romo, et al., 2022), (Vieites, 2011).

3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación está dirigida a la interpretación y al análisis de los distintos efectos del clima sobre los parámetros reproductivos de la cerda. El estrés por calor en cerdos es uno de los problemas más recurrentes de la porcicultura, cuentan con mecanismos de eliminación de calor muy limitados, siendo perjudicial sobre la producción y reproducción.

Las soluciones técnicas requieren de inversiones grandes de capital y tiempo, ejemplo de ello es la construcción de instalaciones apropiadas a cada necesidad, un mejor enfoque nutricional, entre otros. Con base a esto, la investigación de dicho proyecto se basa en evaluar las posibilidades de que el estrés por calor influya en los distintos parámetros reproductivos, dando un enfoque en él, con la utilización de índices de estrés para comprobar su potencial aplicación.

4 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el efecto del estrés por calor sobre los parámetros reproductivos más importantes en cerdas reproductoras.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A. Analizar las condiciones climáticas y el nivel de estrés por calor del área de estudio mediante el cálculo de cuatro índices de estrés en cerdos.
- B. Evaluar los parámetros reproductivos en cerdas reproductoras.
- C. Determinar el efecto del estrés por calor basado en distintos índices de estrés sobre las características reproductivas de cerdas reproductoras.

5 MATERIAL Y MÉTODOS.

Animales

Se analizaron datos de 8 años (2016 a 2023) lo cual corresponde a los datos reproductivos de 25,608 cerdas y su producción, que corresponde a 301,178 cerdos producidos durante ese periodo. La información estadística evaluada fue de hembras del área de gestación de una granja porcina de ciclo completo, ubicada en el valle de Tehuacán, localizada en la parte sureste del Estado de Puebla, sus coordenadas geográficas son los paralelos 18°22'06" y 18°36'12" de longitud norte, y los meridianos 97°15'24" y 97°37'24" de longitud occidental. Sus colindancias son al Norte con Tepanco de López, Santiago Miahuatlán, Nicolás Bravo y Vicente Guerrero, al Este con Vicente Guerrero, San Antonio Cañada y Ajalpan, al Sur con San Gabriel Chilac, Zapotitlán y Altepexi y al Oeste con Zapotitlán, San Martín Atexcal, Juan N. Méndez y Tepanco de López. Su clima es Templado, teniendo una media anual entre 12°C y 18°C, su temperatura más fría oscila entre -3°C y 18°C y la temperatura más caliente de 32°C (Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica del Estado de Puebla, 2015).

Se calculó información reproductiva de las hembras tales como; porcentaje de fertilidad, porcentaje de anestro, promedios de lechones nacidos, porcentaje de mortinatos, porcentaje de bajo peso, promedios de lechones nacidos vivos, porcentaje de momificados, promedio de partos, peso promedio destete, edad destete, porcentaje de abortos, entre otros. La base de datos se trabajó en una hoja de cálculo de Excel y mediante fórmulas, se calcularán los parámetros reproductivos.

Manejo

El manejo inicia en el área de cuarentena, en donde se encuentran hembras seleccionadas del destete, están alojadas en corrales, posteriormente es monitoreado su desarrollo, después se trasladan al área de gestación, en donde se les asigna una jaula y se lleva a cabo la inseminación artificial. Una vez que la gestación ha sido confirmada, las cerdas permanecerán durante casi toda su gestación hasta una semana previa al parto y son trasladadas al área de maternidad y se les cambia la dieta.

Existe de igual forma un área especial para las cerdas primerizas llamada área de cuarentena, en donde se encuentran en corrales amplios con alimento y agua a libre acceso. La dieta de las cerdas en el área de gestación consiste en un alimento balanceado (0.85% de calcio y 14% de proteína), en cerdas multíparas es de (0.93% de calcio y 16% de proteína).

Alimentación

El ajuste nutricional está hecho con base a sus requerimientos para cerdas en gestación con 165 kg de peso corporal, 60 kg de ganancia de peso en el período gestacional y 13.5 lechones producidos, la dieta para esa adecuación fue simulada para contar 3, 170 kilocalorías y 4., 6 % de digestibilidad ileal de los aminoácidos (es uno de los factores más importantes para calificar la calidad de un ingrediente de una dieta, así como la respuesta productiva de los animales) aparente de lisina (Lys SID) por kg. de alimento (dieta con 62 % de sorgo, 27 % de soya, 8 % de salvadillo y 4 -% de núcleo vitamínico y mineral), considerando la dieta mencionada anteriormente y proporcionando de 2,-3 kg- de ración por día.

Instalaciones:

Las instalaciones están orientadas de tal manera que los animales estén protegidos del sol y del viento. En climas cálidos una orientación este-oeste, para obtener más sombra, y en climas fríos una orientación norte-sur permite la entrada de rayos solares, necesarios para calentar el ambiente.

El área de gestación consiste básicamente en galeras rectangulares, teniendo las siguientes medidas 35 metros de largo y 8.8 metros de ancho, construido con blocs de cemento, con una altura de 140 centímetros, su altura es de 4 m en la parte más baja hasta la cumbre del techo. El techo es de lámina galvanizada, lo cual en épocas de calor la temperatura aumenta, el piso es de cemento sólido con declive de 3 - 4 % para reducir la humedad en las jaulas., Cuenta con dos líneas o filas de jaulas para alojar individualmente a cada cerda, esto con el fin de tener un estricto control de la cerda desde el momento de su inseminación hasta su traslado al área de maternidad. Las jaulas son de 65 centímetros de ancho por 220 centímetros de largo y con pasillos trasero, en medio y delantero de 1 metro de ancho cada uno, al final de cada jaula se encuentra una canaleta de 30 centímetros de ancho, en donde corre el estiércol y orina de la cerda.

Índices de Estrés

Se calcularon cuatro índices de estrés: Índice de Temperatura Humedad, Índice de Temperatura Equivalente para Cerdas, La Temperatura Efectiva y el Índice de Estrés Ambiental, los cuales usan la información de la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, ráfaga del viento y radiación solar se obtuvieron del servicio meteorológico nacional. Los datos se dividieron por estaciones; es decir primavera (marzo-junio), verano (junio-septiembre), otoño (septiembre-diciembre), e invierno (diciembre-marzo).

Índice de Temperatura Humedad (ITH):

El índice de temperatura humedad (Mader et al., 2006) se calcula como:

$$ITH = [0.8 \times \text{temperatura del aire}] + [(\% \text{ de humedad relativa}/100) \times (\text{temperatura del aire} - 14.4)] + 46.4$$

Parámetros de Estrés por Calor del ITH:

Parámetro	Valor
Normal	<74
Alerta	75 a 79
Peligro	79 a 84
Emergencia	>84

Índice de Temperatura Equivalente para Cerdas (ETIS)

La ecuación para el cálculo del ETIS es la siguiente:

$$ETIS = T + 0.0006 \cdot (RH - 50) \cdot T - 0.3132 \cdot u^{0.6827} \cdot (38 - T) - 4.79 \cdot (1.0086 \cdot 38 - T) + 4.8957 \cdot 10^{-8} \cdot ((38 + 273.15)^4 - (T+273.15)^4)$$

- **T:** es la temperatura del aire
- **RH:** es la humedad relativa
- **u:** es la velocidad del viento en m/s

Parámetros de Estrés por Calor del ETIS:

Parámetro	Valor
<i>Temperatura adecuada:</i>	$ETIS < 33.1^{\circ}C$
<i>Estrés leve:</i>	$33.1^{\circ}C \leq ETIS < 34.5^{\circ}C$
<i>Estrés moderado:</i>	$34.5^{\circ}C \leq ETIS < 35.9^{\circ}C$
<i>Estrés severo:</i>	$ETIS \geq 35.9^{\circ}C$

La Temperatura Efectiva (ET):

La ecuación para el cálculo de la ET es la siguiente:

$$ET = 37 - \frac{37 - T}{0.68 - 0.0014 \cdot RH + \frac{1}{1.76 + 1.4v^{0.75}}} - 0.29 \cdot T \cdot (1 - 0.01 \cdot RH)$$

- **T:** es la temperatura del aire.
- **RH:** es la humedad relativa.
- **v:** es la velocidad del viento en m/s.

Parámetros de Estrés por Calor del ET:

Parámetro	Valor
<i>Muy frío</i>	$ET < 10^{\circ}C$
<i>Frío</i>	ET entre $10^{\circ}C$ y $15^{\circ}C$
<i>Fresco</i>	ET entre $15^{\circ}C$ y $20^{\circ}C$
<i>Agradable</i>	ET entre $20^{\circ}C$ y $25^{\circ}C$
<i>Cálido</i>	ET entre $25^{\circ}C$ y $30^{\circ}C$
<i>Calor moderado</i>	ET entre $30^{\circ}C$ y $35^{\circ}C$
<i>Calor intenso</i>	$ET > 35^{\circ}C$

Índice de Estrés Ambiental (ESI)

El ESI se basa en mediciones sencillas y precisas de temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar, se calcula como:

$$ESI=0.63T_a-0.3RH+0.002SR+0.0054(T_a\cdot RH)-0.073(0.1+SR)^{-1}$$

- **T_a** : es la temperatura del aire
- **SR** : radiación solar
- **RH** : es la humedad relativa

Los parámetros de referencia del ESI son los siguientes:

Parámetro	Valor
Estrés por calor bajo	< 27°C
Precaución extrema, posible agotamiento por calor con exposición prolongada y/o actividad física	27-32°C
Peligro, probable agotamiento por calor y posible golpe de calor con exposición prolongada y/o actividad física	32-41°C
Peligro extremo, probable golpe de calor	> 41°C

Análisis estadístico:

Los datos fueron analizados con el programa R for Statistical Computer v 3.5, mediante un análisis de correlación de Pearson y un análisis de regresión lineal para determinar que variables reproductivas presentaron relación con los índices de estrés, además de determinar la relación entre los índices para sustentar cual es el de mejor aplicación.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el sitio donde se realizó el estudio, se obtuvieron algunas variables significativas en relación con el ITHMED, ITHMIN, ITHMAX (Índice de Temperatura y Humedad Media, Índice de Temperatura Humedad Mínimo e Índice de Temperatura Humedad Máximo, respectivamente), el ETISVEL y ETISRAF (Índice de Temperatura Equivalente para Cerdas con velocidad del viento y ráfaga del viento), el ETVEL y ETRAF (Temperatura Efectiva velocidad del viento y ráfaga del viento) y con el ESI (Índice de Estrés Ambiental). Mediante un análisis de correlación de Pearson pudimos corroborar que existe una relación sumamente alta entre los diferentes índices utilizados para evaluar el estrés (Cuadro 1) es importante mencionar que el índice que se adapta mejor en relación con los demás es el ESI (Índice de Estrés Ambiental), ya que se encontraron correlaciones altas con todos los índices en condiciones generales (estrés y no estrés), esto nos indica que es el índice que nos genera mayor influencia sobre la evaluación del estrés en cerdos, además de ser una alternativa sencilla y más práctica que el WBGT (Índice de Temperatura de Globo Húmedo) con una correlación mayor a 0.981 (Moran, et al., 2001). El ESI en relación con el ITHMAX y ETRAF presentó un valor de correlación sumamente alto

de 0.999 y 0.990, respectivamente con los valores más altos para los meses de marzo a mayo de 2016 a 2023. Un dato importante que hay que recalcar es que el ESI nos brinda información más sensible, tal como si utilizáramos para evaluar estrés los valores del ITHMAX y del ETRAF los cuales se calcularon con los datos mayores de temperatura, humedad y ráfaga del viento.

En algunos estudios se demostró que los diversos índices térmicos de estrés, sobre todo ESI, manifiestan de forma efectiva las condiciones de estrés por calor en cerdos, lo cual confirma su utilidad en el manejo del bienestar animal, y control de la producción y reproducción (Storti, et al., 2019; Mengbing, et al., 2021). La simplicidad y la alta correlación de ESI con otros índices lo hacen una herramienta práctica para que los porcicultores monitorean y mitiguen el estrés por calor, lo que es crucial para mantener la productividad y la salud en los cerdos (Gabler & Pearce, 2015; Mengbing, et al., 2021). Un manejo adecuado del estrés térmico puede prevenir los efectos perjudiciales sobre el crecimiento y la salud reproductiva, en algunos estudios se demostraron los impactos del estrés por calor en la función intestinal y la fertilidad en los cerdos tanto de hembras como de machos (Gabler & Pearce, 2015; Gutman et al., 2021).

Si bien nuestros resultados respaldan el uso de ESI, es de suma importancia considerar las diferentes razas y otras condiciones ambientales que pueden influir en la efectividad de los índices.

Cuadro 2. Índices para la evaluación de estrés en cerdos.

VARIABLE	ITHMED	ITHMIN	ITHMAX	ETISVEL	ETISRAF	ETVEL	ETRAF	ESI
ITHMED	1	0.891**	0.808**	0.374**	0.752**	0.417**	0.791**	0.824**
ITHMIN	0.957**	1	0.510**	0.203	0.454**	0.245*	0.490**	0.540**
ITHMAX	0.760**	0.644**	1	0.482**	0.950**	0.540**	0.984**	0.993**
ETISVEL	0.124	0.016	0.260	1	0.481**	0.958**	0.497**	0.471**
ETISRAF	0.718**	0.590**	0.978**	0.445*	1	0.516**	0.986**	0.929**
ETVEL	0.114	0.025	0.294	0.945**	0.379	1	0.546**	0.546**

ETRAF	0.772**	0.649**	0.992**	0.438*	0.992**	0.390	1	0.971**
ESI	0.775**	0.662**	0.999**	0.469*	0.977**	0.432*	0.990**	1

**. La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

*. La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).

Los datos sombreados hacen referencia a los índices mayores de cada año (marzo a mayo).

Al evaluar los índices que se incorporaron al estudio se pudo inferir que hay suficiente relación entre cada uno de ellos y que específicamente el ESI nos brinda la mejor información para determinar el estrés calórico, esta tendencia de relación la podemos observar en la figura 1, donde se muestra la información de los índices durante los años que se analizaron (2016 a 2023), cabe destacar que entre los meses de marzo a mayo se encontraron las mayores fluctuaciones a la alza para casi todos los índices, a su vez esto repercutió con un mayor impacto sobre los parámetros productivos y reproductivos.

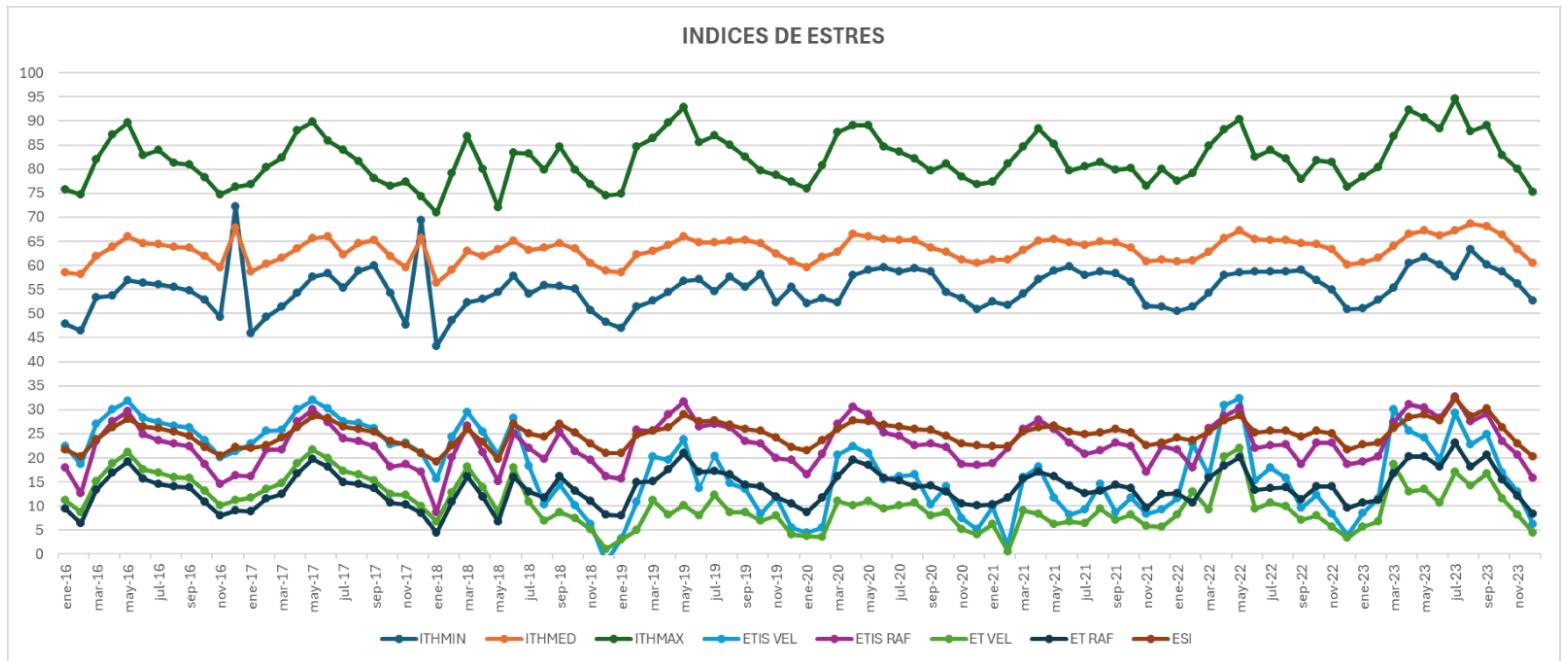


Figura 1. Gráfica de líneas con los diferentes Índices de Estrés de enero de 2016 a diciembre de 2023.

En el cuadro 3 se presenta la información relacionada con los parámetros productivos y reproductivos promedio por año, cabe mencionar que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre años o meses, esto corrobora el manejo homogéneo de los animales durante su vida productiva.

Cuadro 3. Medias más desviaciones estándar de parámetros productivos y reproductivos.

AÑO	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023	
	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE
PRIMERIZAS	40.1	6.8	32.3	7.4	34.2	9.7	40.1	12.6	49.3	10.7	45.3	9.9	44.2	9.9	45.5	8.4
REPETICIONES Y RETRASOS	40.8	9.7	46.9	11.7	45.9	10.9	46.8	7.8	39.3	9.4	49.3	9.9	70.1	19.6	79.7	14.0
DESTETADAS	141.2	13.5	152.6	9.7	146.0	12.9	153.4	9.0	157.6	14.3	153.4	7.8	136.7	22.8	126.8	16.0
DÍAS ABIERTOS	1979.4	288.6	1926.2	225.2	1927.2	215.7	1926.2	225.2	2122.0	434.4	1929.3	30.6	2078.7	467.1	1899.8	45.1
PROMEDIO DÍAS ABIERTOS	9.6	1.4	9.3	1.1	9.3	1.1	9.3	1.1	10.3	2.1	9.4	0.2	10.1	2.3	9.2	0.2
PROMEDIO PARTOS	188.9	10.4	195.6	6.7	187.7	14.0	197.1	8.4	199.5	13.0	180.9	24.5	191.9	10.3	211.2	23.4
% FERTILIDAD	85.1	2.5	84.4	2.9	83.0	3.8	82.0	3.3	81.0	3.1	72.9	9.6	76.5	3.9	84.0	7.9
LECHONES NACIDOS VIVOS	2212.2	147.6	2366.3	130.8	2179.8	160.6	2342.6	157.9	2432.2	152.3	2211.6	389.8	2357.6	159.0	2349.2	253.2
PROMEDIO MORTINATOS	119.9	22.1	139.5	20.4	145.5	24.9	169.0	31.6	228.1	58.8	252.1	52.1	261.3	34.7	281.0	55.7
PROMEDIO MOMIAS	60.2	11.8	54.5	9.4	63.8	12.6	76.5	14.9	90.2	26.0	109.9	40.7	87.1	49.3	131.5	32.0
TOTAL LECHONES NACIDOS VIVOS	2212.2	147.6	2366.3	130.8	2179.8	160.6	2342.6	157.9	2432.2	152.3	2211.6	389.8	2357.6	159.0	2349.2	253.2
LECHONES NACIDOS TOTALES	2392.2	155.1	2560.3	137.7	2389.2	167.3	2588.1	187.6	2750.5	199.6	2574.9	415.0	2706.0	158.5	2761.7	297.3
PROMEDIO LECHONES NACIDOS VIVOS	11.7	0.3	12.1	0.4	11.6	0.3	11.9	0.4	12.2	0.3	12.2	0.6	12.3	0.5	11.7	0.6
% MUERTOS	5.0	0.9	5.5	0.8	6.1	1.0	6.5	0.9	8.2	1.7	9.8	1.3	9.7	1.1	10.2	1.8
% MOMIAS	2.5	0.5	2.1	0.3	2.7	0.5	3.0	0.5	3.3	0.8	4.5	2.2	3.2	1.9	4.8	1.0
% BAJO PESO	5.7	0.8	5.1	1.6	6.4	1.5	5.0	0.3	4.6	2.6	5.9	1.9	5.5	1.7	3.5	1.4
PROMEDIO LECHONES NACIDOS TOTALES	12.7	0.3	13.1	0.4	12.7	0.3	13.1	0.5	13.8	0.2	14.2	0.5	14.1	0.3	13.7	0.7
PROMEDIO PESO AL NACER	1.4	0.1	1.3	0.0	1.3	0.0	1.4	0.0	1.4	0.0	1.4	0.0	1.4	0.0	1.4	0.0
PROMEDIO PARTOS	4.1	0.2	4.3	0.2	4.6	0.3	4.3	0.4	4.2	0.4	3.7	0.2	3.9	0.3	4.0	0.3
CERDAS DESTETADAS	166.8	34.4	170.0	22.9	178.4	12.6	194.3	9.2	193.0	11.7	173.0	26.8	179.5	28.6	189.8	24.3
LECHONES DESTETADOS	1792.2	435.3	1976.7	290.3	1970.2	153.2	2092.3	122.9	2127.1	130.1	1870.1	396.3	1952.0	450.1	2041.8	348.1
PROMEDIO DESTETE	9.5	2.3	10.1	1.5	10.5	0.3	10.6	0.3	10.7	0.3	10.2	1.0	10.2	2.3	10.2	1.0
% MORTALIDAD	18.4	19.7	16.2	12.6	9.6	1.9	10.6	1.4	12.5	2.1	15.9	4.9	17.1	18.2	13.5	7.8
PESO TOTAL DESTETE	10927.4	2840.5	11297.5	2014.5	11405.0	977.9	12582.3	593.1	12664.0	1049.1	110719.0	2312.0	11785.4	3012.2	211997.7	2136.4
PESO PROMEDIO DESTETE	6.0	0.3	5.7	0.5	5.8	0.1	5.5	1.8	5.9	0.2	5.7	0.4	6.0	0.4	5.9	0.3
EDAD DESTETE	24.5	1.0	22.0	1.3	21.4	0.8	21.0	0.8	21.4	0.7	21.4	0.9	21.1	0.6	21.1	0.2
PESO TABLA DESTETE	6.6	0.0	6.6	0.0	6.2	0.2	6.2	0.2	6.6	0.0	6.2	0.1	6.1	0.1	6.1	0.0
ALIMENTO/CERDA/DIA	6.3	1.3	7.0	1.0	5.0	0.5	5.4	0.3	5.9	0.7	5.3	0.2	5.0	1.4	6.4	0.2
LECHONES NACIDOS VIVOS/HEMBRA/AÑO	28.9	0.7	29.9	0.9	28.7	0.8	29.4	1.0	30.1	0.6	30.1	1.6	30.4	1.1	28.8	1.5
DESTETADOS/AÑO	23.5	5.7	25.0	3.6	25.9	0.8	26.2	0.8	26.4	0.8	25.3	2.4	25.2	5.6	25.3	2.4

LECHONES NACIDOS																	
TOTALES/HEMBRA/AN	31.3	0.8	32.3	0.9	31.5	0.7	32.4	1.3	34.0	0.6	35.1	1.3	34.8	0.7	33.8	1.7	
% MORTALIDAD DESTETE	3.8	2.1	5.1	1.7	5.4	1.7	7.3	2.8	7.3	2.6	14.1	4.2	13.1	10.8	5.7	2.6	
EDAD PROMEDIO DESTETE A ENGORDA	70.2	2.5	70.9	1.4	70.3	2.2	67.3	2.7	63.8	4.1	69.5	2.3	69.6	2.3	67.7	2.9	
LECHONES DESTETE ENGORDA	1706.8	418.9	1865.2	284.3	1855.5	156.2	1890.6	165.7	1946.1	125.7	1559.5	379.3	1645.7	460.0	1911.0	384.0	
PESO TOTAL ENGORDA	39318.3	10444.1	41785.3	7553.9	40715.6	3856.5	39207.0	4593.3	38411.3	3543.7	28249.3	7536.1	32970.6	9083.4	446178.0	2851.6	
PESO PROMEDIO ENGORDA	22.9	1.1	22.3	1.3	22.0	1.1	20.7	1.4	19.7	1.1	18.1	1.6	20.2	2.1	22.2	2.8	
PESO TABLA ENGORDA	28.2	0.3	28.2	0.2	28.2	0.2	28.2	0.2	28.7	1.0	27.7	1.6	28.1	1.7	25.9	0.5	
% MORTALIDAD ENGORDA	5.0	2.0	7.0	2.7	6.3	1.5	7.0	1.9	9.3	2.1	10.4	2.8	9.4	4.0	3.7	3.0	
% ABORTOS	7.0	2.9	8.4	3.3	9.8	4.1	8.6	4.5	10.6	4.5	21.4	15.7	15.9	4.2	8.6	4.6	

M, Media. DE, Desviación estándar

Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las variables reproductivas y productivas con los índices de estrés, y se presentan en el cuadro 4. Solo se muestra la información de las variables que presentaron relación estadísticamente significativa con alguno de los índices de estrés.

Cuadro 4. Correlación de las variables productivas y reproductivas con los índices de estrés.

VARIABLE	ITHMED	ITHMIN	ITHMAX	ETIS VEL	ETIS RAF	ET VEL	ET RAF	ESI
REPETICIONES Y RETRASOS DÍAS ABIERTOS PROMEDIO	0.306**	0.249*	0.315**	0.148	0.269**	0.200	0.297**	0.327**
% FERTILIDAD	-0.541**	-0.473**	-0.369**	-0.164	-0.392**	-0.210	-0.376**	-0.363**
LECHONES NACIDOS VIVOS	-0.079	-0.025	-0.101	0.233*	-0.111	0.170	-0.107	-0.119
PROMEDIO MORTINATOS	0.135	0.236*	-0.006	-0.137	-0.033	-0.125	-0.023	0.000
TOTAL LECHONES NACIDOS VIVOS	0.183	0.196	0.137	-0.383**	0.150	-0.338**	0.141	0.146
LECHONES NACIDOS TOTALES	0.135	0.236*	-0.006	-0.137	-0.033	-0.125	-0.023	0.000
PROMEDIO LECHONES NACIDOS VIVOS	0.183	0.264*	0.056	-0.240*	0.032	-0.217*	0.040	0.063
% MORTINATOS	0.141	0.253*	-0.032	-0.170	-0.058	-0.111	-0.049	0.002
% BAJO PESO	0.135	0.127	0.127	-0.389**	0.149	-0.342**	0.136	0.136
PROMEDIO LECHONES NACIDOS TOTALES	0.077	0.076	0.046	-0.207*	0.012	-0.157	0.024	0.062
PROMEDIO PESO AL NACER	0.196	0.250*	0.084	-0.342**	0.068	-0.277**	0.071	0.112
LECHONES DESTETADOS	0.264*	0.194	0.279**	-0.153	0.284**	-0.171	0.282**	0.272**
PROMEDIO DESTETE	0.213*	0.309**	0.046	-0.214*	0.040	-0.201	0.045	0.056
TOTAL DESTETADOS	0.197	0.273**	0.047	-0.200	0.050	-0.177	0.053	0.065
PESO TABLA DESTETE	0.220*	0.308**	0.061	-0.178	0.038	-0.162	0.051	0.068
ALIMENTO/ CERDA/DIA	-0.228*	-0.136	-0.203	0.311**	-0.181	0.271**	-0.194	-0.228*
	-0.258*	-0.224*	-0.222*	0.356**	-0.221*	0.299**	-0.221*	-0.234*

LECHONES NACIDOS VIVOS/HEMBRA/AÑO	0.141	0.253*	-0.032	-0.170	-0.058	-0.111	-0.049	0.002
LECHON/DESTETE/AÑO	0.197	0.273**	0.047	-0.200	0.050	-0.177	0.053	0.065
LECHONES NACIDOS TOTALES/HEMBRA/ AÑO	0.196	0.250*	0.084	-0.342**	0.068	-0.277**	0.071	0.112
% MORTALIDAD DESTETE	-0.066	-0.009	-0.136	-0.484**	-0.141	-0.423**	-0.138	-0.099
PESO PROMEDIO	0.129	0.069	0.182	0.372**	0.106	0.319**	0.139	0.160
PESO TABLA ENGORDA	-0.265*	-0.217*	-0.267*	-0.119	-0.202	-0.114	-0.243*	-0.276**
% MORTALIDAD ENGORDA	0.043	0.111	-0.020	-0.404**	0.010	-0.324**	-0.008	0.003

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

* La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).

Los índices ITHMED (0.306), ITHMIN (0.249), ITHMAX (0.315), ETISRAF (0.269), ETRAF (0.297) y ESI (0.327) tuvieron una relación positiva con la variable de repeticiones y retrasos (49.65%), los que indica que el aumento de estos índices afectara la variable con un aumento de la cantidad de repeticiones y retrasos, una cerda repite cíclicamente (manteniendo la duración normal de un ciclo estral: 18-24 días (Martin, 1996), los primeros 10-12 días post-cubrición (puede ser estrés térmico). En este momento el estrés puede fácilmente afectar a la correcta implantación de los embriones llevando a la pérdida de la gestación (Martin, 1996).

Los días abiertos promedio (9.39) disminuyen con el aumento del ITHMED (-0.541), ITHMIN (-0.473), ITHMAX (-0.369), ETISRAF (-0.392), ETRAF (-0.376) y ESI (-0.363), los días abiertos o días vacíos son los días en los que la cerda adulta o la cerda nulípara no está preñada ni lactante, en términos económicos, los días abiertos son días en los que las hembras presentes en la explotación incurren en gastos sin generar ingresos (Ek-Mex, et al., 2015). Si el ciclo productivo óptimo es de 136 días (115 días de gestación más 21 días de lactación), el potencial reproductivo de la cerda será de 2.42 partos/cerda/año, si tenemos un intervalo destete-cubrición de 3 a 5 días abiertos por ciclo, el potencial reproductivo disminuye hasta 2.28 partos/cerda/año. Teniendo en cuenta que el ritmo reproductivo tiene valores medios de 2.21 a 2.35 partos/cerda/año, se puede calcular una media de 33 hasta 53 días abiertos por año (14-24 DNP/ciclo) (Ek-Mex, et al., 2015).

Se encontró que el ETISVEL tiene una relación positiva de 0.233 con respecto a la fertilidad (80.73%), al aumentar el índice aumentará el porcentaje de fertilidad, esto sugiere que al aumentar la velocidad del viento mejorará la conducción del calor y que las hembras disminuyen su temperatura corporal. Los mortinatos (191.78) se relacionaron negativamente con ETISVEL (-0.383) y ETVEL (-0.338), el aumento de estas variables ayuda a disminuir el número de mortinatos, lo cual implica que el control de la temperatura después del primer tercio de la gestación es crucial.

El ITHMIN tuvo una correlación positiva (0.236) con el total de lechones nacidos vivos (2303.29), una correlación de 0.264 con los lechones nacidos totales (2577) y una correlación de 0.253 con el promedio de lechones nacidos vivos (11.98), lo que muestra que los índices de temperatura humedad bajos hacen que se incremente la producción de lechones nacidos. Para el caso de los lechones nacidos totales se tuvo una relación negativa con el ETISVEL (-0.240) y ETVEL (-0.217) mostrando que al aumentar estos índices se presenta una tendencia a la baja en el número de lechones nacidos totales. El control de la temperatura ambiental resulta complicado, si no se cuenta con las instalaciones adecuadas, se suele recomendar priorizar la camada al menos las primeras 48 horas post-parto y ocuparse de la cerda para optimizar la producción de leche (Muns, et al., 2016).

El porcentaje de muertos (7.36%) se relacionó negativamente con el ETISVEL (-0.389) y ETVEL (-0.342), esto puede deberse a que los lechones tienen un rango termoneutral mayor que las cerdas en producción. Esto puede explicar su relativa resiliencia en comparación con las cerdas, que experimentan un estrés más significativo en condiciones similares (Omotoshio, et al., 2024).

El porcentaje de bajo peso (1.64%) se relacionó negativamente con ETISVEL (-0.207). Por otro lado, el promedio de lechones nacidos totales (13.41) tuvo una relación positiva con ITHMIN (0.250) pero negativa con ETISVEL (-0.342) y ETVEL (-0.277), en este caso los índices que nos explican mejor la información en cuanto a la percepción del estrés es ETISVEL y ETVEL, debido a que presentaron una significancia alta y en la relación entre estos índices con ITHMIN no presentaron relación significativa, lo cual indica el por qué las correlaciones son inversas. Los resultados sugieren que las cerdas producen más lechones bajo condiciones óptimas, pero que el estrés por calor impacta negativamente su rendimiento reproductivo (Kiefer, et al., 2010). Las estrategias de manejo efectivas, como la aspersión durante las horas más intensas de calor, alivian el estrés por calor y mejoran el bienestar general de los animales (Segura, et al., 2024). El implementar tales estrategias podría mejorar la productividad y reducir las tasas de mortalidad, resaltando la necesidad de un mejor confort térmico en la cría porcina (Kiefer, et al., 2010).

Para el promedio de peso al nacer (1.37) se encontraron correlaciones positivas con ITHMED (0.264), ITHMAX (0.279), ETISRAF (0.284), ETRAF (0.282) y ESI (0.272), estas relaciones nos muestran que durante la estancia de las cerdas en gestación los cambios ambientales no son tan agresivos o que las instalaciones y el manejo es adecuado. Se sabe que el estrés calórico en etapa prenatal afecta negativamente el crecimiento postnatal y la respuesta inmune, lo que lleva a un rendimiento reducido y mayores costos de mantenimiento de los cerdos (Johnson, et al., 2020; Johnson, 2023). Por el contrario, es fundamental considerar que, si bien las correlaciones son positivas, no eliminan los impactos potenciales a largo plazo en el desarrollo y la salud general, como lo indican los estudios que muestran una

expresión génica alterada y un crecimiento muscular reducido en condiciones de estrés por calor (Maskal, et al., 2020; Zhao, et al., 2022).

El número de lechones destetados (1972.43) presentó una correlación positiva con el ITHMED (0.213) e ITHMIN (0.309), pero una correlación negativa con ETISVEL (-0.214), estos índices presentaron relación significativa entre sí, lo cual complica explicar por qué las correlaciones son inversas. El promedio al destete (10.26) tuvo una correlación positiva con el ITHMIN, lo que muestra que a menor ITH la producción es mejor, de forma similar con el total destetados (11637.04). El peso tabla destete (21.80kg) presentó correlaciones negativas con ITHMED (-0.228) y ESI (-0.228) y correlaciones positivas con ETISVEL (0.311) y ETVEL (0.271), las correlaciones entre estos índices son positivas, sin embargo, la de ITHMED con ESI son sumamente altas (0.824) lo que sugiere sus valores son los que mejor se ajustan, en cuanto a la relación, suponiendo la correlación a la baja en el peso tabla destete con forme aumenten el ITHMED y ESI. Por el contrario, los resultados sugieren un claro impacto negativo del estrés por calor en la producción, algunos estudios indican que ciertas razas pueden exhibir una mejora de la resistencia ambiental, mientras que se pueden ver afectados el tamaño de la camada y la viabilidad de los lechones, particularmente en razas como Duroc (Горб, et al., 2024; Byrd, et al., 2024).

El total alimento consumido por cerda por día (3.28kg) se relacionó negativamente con ITHMED (-0.258) ITHMIN (-0.224), ITHMAX (-0.222), ETISRAF (-0.221), ETRAF (-0.221) y ESI (-0.234) estos índices nos muestran la influencia negativa en cuanto al aumento de estrés sobre el consumo de alimento, mientras que la relación positiva con ETISVEL (0.356) y ETVEL (0.299) al tener un mayor nivel de significancia nos ayuda a determinar que en la mayoría de los años evaluados no hubo cambios que alteraran el consumo de alimento. Las dietas esenciales para conservar la condición corporal, con la finalidad alcanzar la mayor eficiencia y lograr que cada cerda ingiera la cantidad de alimento requerido que cubra sus necesidades de mantenimiento y producción, depende de que se maneje adecuadamente por fase de producción, genética, ambiente, sanidad y potencial productivo (Ampaire et al., 2016). La disminución de la ingesta de alimento asociada con el peso corporal en los cerdos afecta la respuesta fisiológica al estrés lo que conduce a una menor productividad (Rudolph, et al., 2024).

El número de lechones nacidos vivos por hembra por año (29.59), los lechones destetados por hembra por año (25.35) y los lechones nacidos totales por hembra por año (33.14), se correlacionaron positivamente con el ITHMIN (0.253, 0.273 y 0.250, respectivamente), esto indica que a menor ITH se puede mejorar la producción de lechones, además de que este índice se utilizó para identificar los momentos de menor estrés calórico, y su relación con la producción y la reproducción. Sin embargo, los lechones nacidos totales por hembra por año tuvieron relaciones negativas con el ETISVEL (-0.342) y ETVEL (-0.277), estos

índices no parecen influir, ya que los parámetros de la granja se encuentran dentro de referencia general para granjas de ciclo completo (mayor a 30 lechones nacidos totales por hembra por año). Un ITH bajo indica un mejor rendimiento reproductivo, lo que respalda los hallazgos de que el estrés por calor afecta negativamente al tamaño de la camada (Горб, et al., 2024). Nuestros resultados sugieren que la identificación adecuada de los índices de estrés térmico como ITH, ETIS y ET son cruciales para optimizar los parámetros reproductivos, es esencial considerar que otros factores, como las diferencias genéticas y las prácticas de manejo, pueden generar efectos significativos sobre los resultados (Byrd, et al., 2024).

El porcentaje de mortalidad en destete (7.77%) tiene una tendencia a correlacionarse negativamente, sin embargo, solo el ETISVEL (-0.484) y ETVEL (-0.423) tuvieron significancia estadística, de manera similar con el porcentaje de mortalidad en engorda (7.48%) con una correlación de -0.404 con ETISVEL y -0.324 con ETVEL, una de las mayores implicaciones es el control de la temperatura y el otro factor importante es la zona termoneutral que por lo regular es mayor en lechones y animales en crecimiento que en las cerdas en producción, la mortalidad de cerdos en engorda no se puede evitar, se espera al menos un 5% de cerdos muertos desde el destete hasta la finalización, aunque con frecuencia hay mortalidades de más del 10%, obtener el valor económico es el primer paso para conocer la viabilidad de las medidas que se recomendarán (Asmus, et al., 2014). Tendencias similares se observan en cerdos de engorda, donde el estrés por calor genera estrés fisiológico, menor ingesta de alimento y tasas de mortalidad elevadas (Rudolph, et al., 2024; Omotosho, et al., 2024). Seleccionar razas con menor susceptibilidad al estrés por calor también puede ayudar a reducir los porcentajes de mortalidad durante las etapas de crecimiento (Горб et al., 2024). Los resultados obtenidos destacan los efectos perjudiciales del estrés por calor, para ello es fundamental considerar que no todos los cerdos responden de manera uniforme; factores como la raza y el sexo pueden influir en la resistencia al estrés térmico, lo que sugiere la necesidad de enfoques de manejo específicos para cada etapa y condición ambiental.

El peso promedio al llegar a la engorda (21.23kg) tiene una tendencia positiva en relación con el ETISVEL (0.372) y ETVEL (0.319), mientras que el peso tabla engorda se comporta significativamente de manera negativa con ITHMED, ITHMIN, ITHMAX, ETRAF y ESI, lo cual indica que cierto nivel en el aumento de la temperatura, la humedad y la radiación solar afectara negativamente el peso de los animales en producción. Mantener un buen confort térmico puede mejorar la ingesta de alimento y las tasas de crecimiento en cerdos, como se observa cuando se implementa la aspersión en climas tropicales que mejoran el peso de la canal y la calidad de la carne (Segura, et al., 2024). El manejo efectivo del confort térmico

implica comprender las propiedades del aire, la temperatura y la humedad, lo que ayuda a mantener los cerdos dentro de su zona termoneutral (Júnior, et al., 2023).

De manera agrupada (figura 2) podemos observar la información de los parámetros productivos y reproductivos relacionados con los índices de estrés, es de suma relevancia el comportamiento que muestra el Índice de Estrés Ambiental (ESI) ya que nos da un panorama más amplio de cuáles son los parámetros mayormente afectados por el estrés calórico.

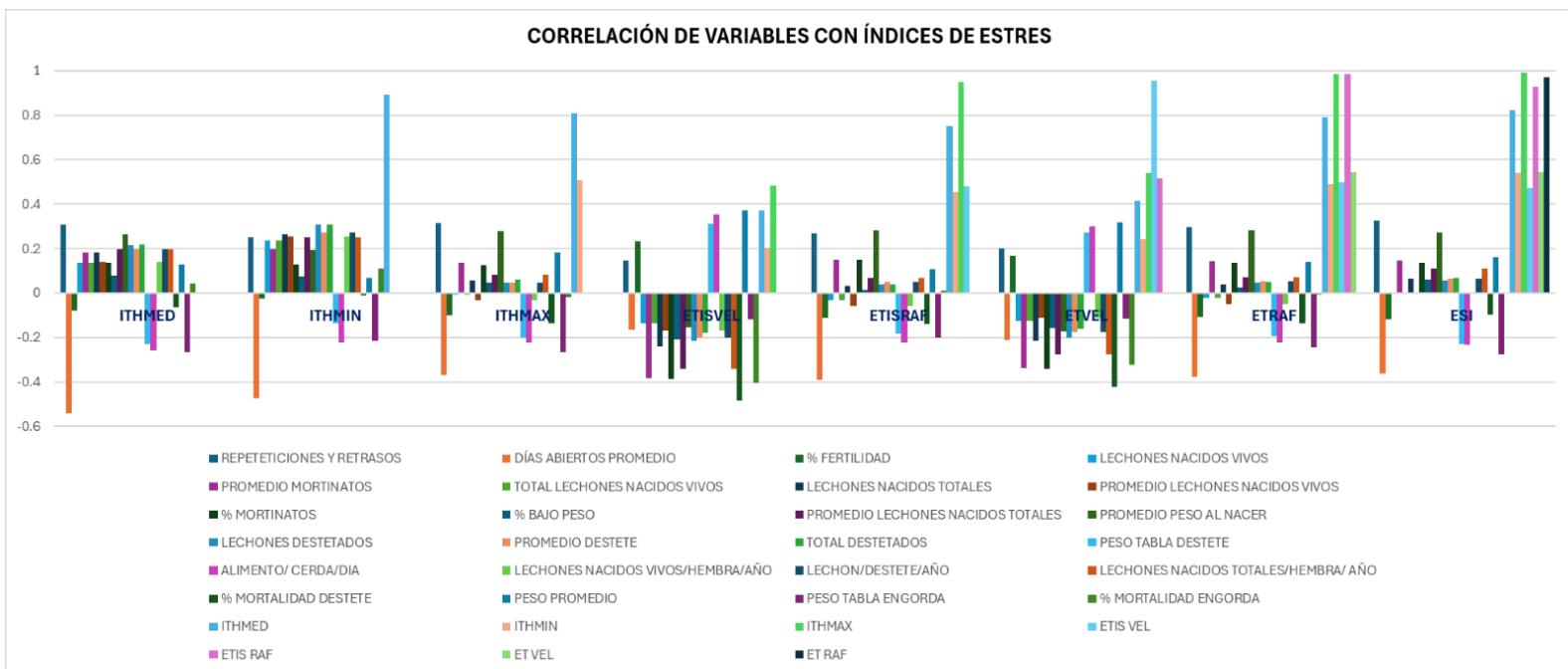


Figura 2. Gráfica de barras con los diferentes Índices de Estrés y los parámetros que presentaron correlación, de enero de 2016 a diciembre de 2023

7 CONCLUSIÓN

Las variables climáticas como la velocidad y la rapidez del viento, la humedad, a temperatura del aire, la radiación, entre otras tienen un impacto significativo en aspectos de la producción y la reproducción porcina, incluyendo la fertilidad, el número de lechones nacidos vivos, los mortinatos, el peso al nacer, la producción e lechones, el consumo de alimento, etcétera, lo que impacta de manera directa en la economía de la granja, por ello es importante considerar estos factores al planificar y gestionar la producción con la finalidad de optimizar los recursos y eficientizar nuestros parámetros productivos y reproductivos, con respecto a nuestros resultados se propone el uso del Índice de Estrés Ambiental como el mejor indicar de estrés por su alta relación con otros índices y por la facilidad de su obtención.

8 REFERENCIAS

1. Acosta A. 1996. Comportamiento reproductivo de las cerdas en centros multiplicadores de las provincias orientales. Resúmenes I Taller Internacional de Producción Animal. IS CAB. 125 pág.
2. Amo Flórez J. 2018. El mercado de la carne de cerdo en México. Editado por ICEX España Exportación e Inversiones, E.P.E., M.P. Bajo la supervisión de la Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en México.
3. Ampaire A., and C. L. Levesque. 2016. Effect of altered lysine:energy ratio during gestation on wean pig growth performance. *J. Anim. Sci.* 94:121. (Abstr.)
4. Arey D.S and Brooke P. 2006. Animal Welfare Aspects of Good Agri- cultural Practice: Pig Production. Compassion in World Farming Trust. Netherlands. 82 pp.
5. Asmus M. D., J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, S. S. Dritz, T. A. Houser, J. L. Nelssen, and R. D. Goodband. 2014. Effects of lowering dietary fiber before marketing on finishing pig growth performance, carcass characteristics, carcass fat quality, and intestinal weights. *J Anim Sci.* 92:119-128.
6. Bautista L. 1993. Parámetros de Producción de la Porcicultura Nacional. En: Seminario Internacional de Porcicultura. Guadalajara. 73p.
7. Bauza R. y Petrocelli, H. 2019. Ambiente biotérmico. Ed. Departamento de Producción Animal. Cátedra de suinotecnia. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay. P. 46
8. Behrens M.J., Kattesh, H.G. and Baumbach, G.A. 1993. Plasma and uterine cortisol, progesterone and protein changes in pseudopregnant gilts treated with hydrocortisone acetate. *Theriogenology*, 40: 1231- 1241.
9. Belding H.S., Hatch T.F. 1955. Índice para evaluar el estrés térmico en términos de la tensión fisiológica resultante. *Heat Pip Air Condit* 27:129–136

10. Bello O.R. 2000. Propuesta metodológica para el análisis de sistemas porcícolas intensivos: intensidad de uso y renovación de la cerda (Tesis de maestría inédita). Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Morelia. Mexico. 130pp.
11. Beltrán R. G., Velázquez E. H., & Pérez J. E. 2011. Prácticas alimenticias en lechones en lactación y postdestete (parte I). Los Porcicultores y su Entorno, 13(76), 154-160.
12. Berruecos J. M. 2010. Análisis estadístico de la relación entre el número de lechones nacidos, destetados y porcentaje al destete, en la raza Duroc-Jersey, Téc. Pec. en Méx., 6:35-38.
13. Bille N.N. Nielsen J. Larsen J. Svendsen. 1974. Preweaning mortality in pigs. 2. The perinatal period, Nord. Vet. Med. 26: 294-313.
14. Blazejczyk K., Holmér I., Nilsson H. 1998. Absorción de energía solar La radiación emitida por un sensor elipsoide simulaba el cuerpo humano. Appl Hum Sci 17(6):267–273.
15. Blazejczyk K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., & Tinz, B. 2011. Comparison of UTCI to selected thermal indices. International Journal Of Biometeorology, 56(3), 515-535. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0453-2>.
16. Boyer P.E., Almond G.W. 2014. Use of altrenogest at weaning in primiparous sows. J Swine Health Prod;22(3): 134-137.
17. Bracke M. 2007. Recreational devices. En: A Verlade & R Geers. (Eds.). On Farm Monitoring of Pig Welfare. Wageningen Academic Pub.: Wageningen, Netherlands. pp. 141-145.
18. Byrd M., Stewart K. R., Pasternak J. A., & Johnson J. S. 2024. Feeding the early gestating gilt during heat stress: Implications towards fetal viability, growth, and development. Journal of Animal Science. <https://doi.org/10.1093/jas/skae102.075>.
19. Campion D. 2013. Calidad de la carne porcina según el sistema de producción [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_porcina/00-carne_porcina/31-calidad-carne-porcina-produccion.pdf
20. Cao M., Zong C., Wang X., Teng G., Zhuang Y., & Lei K. 2021. Modeling of Heat Stress in Sows—Part 1: Establishment of the Prediction Model for the Equivalent Temperature Index of the Sows. Animals, 11(5), 1472. <https://doi.org/10.3390/ani11051472>.
21. Chauhan SS, Celi P, Leury BJ, Clarke IJ, Dunshea FR. 2014. Dietary antioxidants at supranutritional doses improve oxidative status and reduce the negative effects of heat stress in sheep. Journal of Animal Science. 92(8):3364-74. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7714>.
22. Chris T. Opschoor et al. 2012. The Economic Benefit of Heavier Piglets. IPVS Korea, (pp 156).

23. Cintra M. F., García L. P., Hernández Y. S., & Pérez M. S. 2006. Características reproductivas de la cerda. Influencia de algunos factores ambientales y nutricionales. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 1, 1-36. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612648012.pdf>
24. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica del Estado de Puebla. 2015. Tomado de: <http://www.coteigep.puebla.gob.mx/est231.php?muni=21156>.
25. Ek-Mex JE, JC Segura Correa, Alzina López A, Aké López R. 2015. Factores ambientales que afectan algunas características postdestete de las cerdas en el trópico de México. Arch. Med. Vet 47(1): 45-51.
26. English P., V. Morrison. 1984. Causes and prevention of piglets mortality, Pig News and Information 5: 369-375.
27. Erika del Carmen Von Borstel García. 2004. Evaluaciones de los factores medioambientales que influyen sobre la calidad seminal en sementales porcinos. Tesis Licenciatura (MVZ). Cd Obregon, ITSON.
28. Falceto M.V, Úbeda J.L, Mitjana O., Bonastre C., Ausejo R., Dahmani Y. 2014. Uso de tratamientos hormonales para el control reproductivo de la cerda. SUIS N°109 julio/agosto.
29. FAO. 2004. Propuesta de un Estudio para Determinar el Impacto Económico por la Presencia de la Peste Porcina Clásica y su Prevención en el Continente Americano. Plan Continental para la Erradicación de la Peste Porcina Clásica de las Américas. Disponible en: <http://www.fao.org/3/aai050s.pdf>.
30. Fonseca S.F, Teles M.C, V. Ribeiro G.C, Magalhaes F.C, Mendonça V.A, Peixoto M.F.D, Leite L.H.R, Coimbra C.C, Lacerda A.C.R. 2015. Hypertension is associated with greater heat Exchange during exercise recovery in a hot environment. Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 48(12):1122-1129. ISSN: 1414-431X.
31. Gabler N. K., & Pearce S. C. 2015. The impact of heat stress on intestinal function and productivity in grow-finish pigs. Animal Production Science. <https://doi.org/10.1071/AN15280>
32. García C.A. del C, Martínez B.N.R, Amaro G.R, Aguirre A.F.A, Angulo M. Manual de evaluación de la unidad de producción porcina. SAGARPA, INIFAP, CIRPAS. 2008. Campo Experimental “Zacatepec”. Publicación Especial No. 45. Zacatepec, Morelos. 40p.
33. Gobierno de México. Agricultura. SENASICA. Estudio para Determinar el Impacto Económico de la PPC en México, 2021. https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2021/enero/An%C3%A1isisSocioecon%C3%B3micoFPC_876a8d25-0d1b-4fa8-94e4-18d59e932257.pdf
34. Gonyou H.W, Beltranena E, Whittington D.L, Patience J.F. 2001. The behaviour of pigs weaned at 12 and 21 days of age from weaning to market. Can. J. Anim. Sci., 78: 517-523.
35. González M. 2004. Guía de Porcicultura. 20p.

36. Gutman M. P., Gorb N. N., & Sorokoletova V. M. 2021. Influence of heat stress on the quality of sperm production of boars-producers of different breeds and its fertilizing ability. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-59-2-106-114>
37. Hernández A., García MCA, Valencia PM, Gutiérrez CAJ, García MAM, Gómez SJA, Morales-Flores S. 2018. Estudio de cerdos criollos mexicanos para instalación del centro de conservación en la Universidad de Guanajuato, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal* 12: 77-84.
38. Holmér I. 1984. Aislamiento de ropa requerido (IREQ) como un parámetro analítico Índice de estrés por frío. *ASHRAE Trans* 90(1):1116–1128 Höppe
39. Houghton F.C, Yaglou C.P. 1923. Determining equal comfort lines. *J Am Soc Heat Vent Eng* 29:165–176.
40. INEGI. 2015. Principales resultados de la encuesta Intercensal 2015 Estados Unidos Mexicanos, tomado de: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/especiales/ei2015/doc/eic2015_resultados.pdf.
41. Johnson J.S, Stewart K.R, Safranski T.J, Ross J.W, Baumgard L.H. 2020. In utero heat stress alters postnatal phenotypes in swine. *Theriogenology*. 2020 Sep 15; 154:110-119. doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.05.013. Epub May 18. PMID: 32540511.
42. Júnior S. L., Silveira R. M. F., & Da Silva I. J. O. 2023. Psychrometry in the thermal comfort diagnosis of production animals: a combination of the systematic review and methodological proposal. *International Journal Of Biometeorology*, 68(1), 45-56.
43. Jorgensen H., Prapaspong T., Khanh V. y Poulsen H. 2013. Models to quantify excretion of dry matter, nitrogen, phosphorus and carbon in growing pigs fed regional diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 4(1):42.
44. Joseph D.N, Whirledge S. 2017. Stress and the HPA Axis: Balancing Homeostasis and Fertility. *International Journal of Molecular Science*. 18(10): 2224. ISSN 1422-0067
45. Kemp B. and Soede N.M. 2012. Should Weaning be the Start of the Reproductive Cycle in Hyper-prolific sows? A Physiological View. *Reproduction in Domestic Animals*. 47, (Suppl. 4), 320-326.
46. KEY N, Sneeringer S, Marquardt D. 2014. Climate change, heat stress, and U.S. dairy production. United States Department of Agriculture. Report ERR175:1-45.
47. Kiefer C., Moura M. S. de, Silva E. A. da, Santos A. P. dos, Silva C. M., Luz M. F. da, & Nantes C. L. 2010. Respostas de suínos em terminação mantidos em diferentes ambientes térmicos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*.
48. Kraeling R.R. and Webel S. K. 2015. Current strategies for reproductive management of gilts and sows in North America. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6:3. www.jasbsci.com/content/6/1/3.

49. Langendijk P., Fleuren M., van Hees H.; van Kempen, T. 2018. The course of parturition affects piglet condition at birth and survival and growth through the nursery phase. *Animals*, 8, 60.
50. Liu F., Zhao W., Le H.H., Cottrell J.J., Green M.P., Leury B.J., Dunshea F.R. y Bell A.W. 2022. Review: ¿What have we learned about the effects of heat stress on the pig industry? *Animal*, Volumen 16, 100349.
51. Mader T.L., Davis M.S., Brown-Brandl T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 84(3):712-719. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>.
52. Maes D., Peltoniemi O., & Malik M. Y. 2023. Abortion and fetal death in sows. <https://doi.org/10.1111/rda.14436>
53. Martin Rillo. S. 1996. Bases fisiológicas en el manejo de las hembras reproductoras. En Reproducción del Cerdo. División del Sistema de Universidad Abierta. FMVZ-UNAM. México.
54. Mengbing C., Zong C., Wang X., Teng G., Zhuang Y., & Lei K. 2021. Modeling of Heat Stress in Sows—Part 1: Establishment of the Prediction Model for the Equivalent Temperature Index of the Sows. Open Access Journal. <https://doi.org/10.3390/ANI11051472>
55. Mengbing C., Zong C., Zhuang Y., Teng G., Zhou S., & Yang T. 2021. Modeling of Heat Stress in Sows Part 2: Comparison of Various Thermal Comfort Indices. Open Access Journal. <https://doi.org/10.3390/ANI11061498>
56. Moran D., Pandolf K., Shapiro Y., Heled Y., Shani Y., Mathew W., & Gonzalez R. 2001. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). *Journal Of Thermal Biology*, 26(4-5), 427-431. [https://doi.org/10.1016/s0306-4565\(01\)00055-9](https://doi.org/10.1016/s0306-4565(01)00055-9).
57. Muns J. Malmkvist M. L. V. Larsen D. Sørensen L. J. Pedersen. 2016. High environmental temperature around farrowing induced heat stress in crated sows. *Journal of Animal Science*, Volume 94, Issue 1, January, Pages 377–384, <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9623>.
58. Myriam Boeta, Alberto Balcázar S., José Luis Cerbón, Juan H. Hernández Medrano, Joel Hernández Cerón, Rosa María Páramo Ramírez, Antonio I. Porras Almeraya, Lucía Rangel, Brenda Salgado, Javier Valencia, Luis Zarco. 2018. Fisiología reproductiva de los animales domésticos, Primera edición, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 542.
59. Norwegian School of Veterinary Science. 2012. Stillbirth and neonatal death in piglets. ScienceDaily. Retrieved Octavar 28, 2024 from www.sciencedaily.com/releases/2012/12/121219082817.htm
60. Oksbjerg N, Nissen PM, Therkildsen M, Moller HS, Larsen LB, Andersen M, Young JF. 2013 Meat science and muscle biology symposium: in utero nutrition related to fetal development, postnatal performance, and meat quality of pork. *J Anim Sci*;91:1443-1453. [Links]
61. Omotosho O. O., Fowowe O., Abiola J., Oyagbemi A. A., & Omobowale T. 2024. High Environmental Temperature Induces Oxidative Stress, Reduced

- Sow Productivity and Increased Piglet Mortality. *Journal of Applied Veterinary Sciences (Print)*. <https://doi.org/10.21608/javs.2024.255494.1300>
62. Parsons K. C. 1995. International heat stress standards: a review. *Ergonomics*, 38(1), 6–22. <https://doi.org/10.1080/00140139508925081>.
63. Parsons K.C. 2003. Entornos térmicos humanos: los efectos del calor, Efectos de los ambientes fríos y moderados sobre la salud, el confort y el rendimiento humanos. Taylor & Francis. Londres, Nueva York, pág. 527.
64. Peltoniemi O.A.T., Virolainen J.V. 2005. Seasonality of reproduction in female pigs. pp. 205-218. In: Ashworth, C.J., Kraeling, R.R. (Eds.), *Control of Pig Reproduction VII*. Nottingham University Press, England.
65. Price H., Williamson S., Henson J. and Mc Keith A. G. 2019. Effects of various levels of protein, lysine, fat, and fiber on swine growth and pork quality. *Meat and Muscle Biology*, 1(3), 157-157. <https://doi.org/10.221751/rmc2017.152>
66. Renaudeau D., Collin A., Yahav S., De Basilio V., Gourdine J. L. & Collier R. J. 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707-728.
67. Rendón del Águila J. U., Martínez R. G., Lozano M. A., Spilsburyb A., & Herradora, M. 2017. Efecto del peso al nacer, tamaño de camada y posición en la ubre sobre el crecimiento de cerdos durante la lactancia y engorda. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 75-81. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4317>.
68. Romo Valdez J., Silva Hidalgo G., Güémez Gaxiola H., Romo Valdez. A., & Romo Rubio. J. 2022. Estrés por calor: influencia sobre la fisiología, comportamiento productivo y reproductivo del cerdo. *Abanico Veterinario*, 12. <https://doi.org/10.21929/abavet2022.37>
69. Roppa L. 2003. La nutrición y la alimentación de las hembras reproductoras en gestación. Recuperado de <http://www.engormix.com/MA-porcicultura/articulos/nutricion-alimentacion-hembras-reproductoras-t484/p0.htm>.
70. Rudolph T., Roths M., Freestone A., Rhoads R., White Springer S., Baumgard L., & Selsby J. 2024. The contribution of biological sex to heat stress-mediated outcomes in growing pigs. *Animal*, 18(6), 101168. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101168>
71. Segura J. L., Calvo L., Escudero R., Rodríguez A. I., Olivares Á., Jiménez Gómez B., & López Bote C. J. 2024. Alleviating Heat Stress in Fattening Pigs: Low-Intensity Showers in Critical Hours Alter Body External Temperature, Feeding Pattern, Carcass Composition, and Meat Quality Characteristics. *Animals*. <https://doi.org/10.3390/ani14111661>
72. Steadman R.G. 1984. Una escala universal de temperatura aparente. *Appl. Meteorología Climatol* 23:1674–1687

73. Storti A. A., Nascimento M. R. B. de M., Faria C. U. de, & Silva N. A. M. da. 2019. Índices de estresse térmico para touros jovens Nelore criados em ambiente tropical. *Acta Scientiae Veterinariae*.
74. Terry R., Kind K.L., Hughes P.E., Kennaway D.J., Herde P.J., and William H.E.J. Van Wettere. 2013. Split weaning increases the incidence of lactation oestrus in boar-exposed sows. *Animal Reproduction Science*. November 1, Volume 142, issues 1-2, Pages 48-55.
75. Trujillo, O. M. E. y Martínez, G. R. G. 2012. Zootecnia de Porcinos. En: Trujillo M. E. O. (editor). *Introducción a la Zootecnia*, 2^a ed. México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia 145-162.
76. Vakanjac S., Obrenović S., Petrujkić T., & Dobrić Đ. T. 2003. Infectious abortions in swine. <https://doi.org/10.2298/VETGL0302073V>
77. Van Den Bosch M., Van de Linde I. B., Kemp B., & Van Den Brand H. 2022. Disentangling Litter Size and Farrowing Duration Effects on Piglet Stillbirth, Acid–Base Blood Parameters and Pre-Weaning Mortality. *Frontiers In Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.836202>
78. Van Den Bosch M., Van de Linde I. B., Kemp B., & Van Den Brand H. 2022b. Disentangling Litter Size and Farrowing Duration Effects on Piglet Stillbirth, Acid–Base Blood Parameters and Pre-Weaning Mortality. *Frontiers In Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.836202>
79. Vieites C.M. 2011. Producción Porcina. Fundamentos y enfoque sustentable para su desarrollo. Tomo I y II. Primera Edición. Editorial hemisferio sur. Buenos Aires. Argentina.
80. Yaglou C.P, Minard D. 1957. Control de las bajas por calor en las fuerzas armadas Centros de formación. *Am Med Assoc Arch Ind Health* 16:302–316
81. Горб Н. Н., Гудков С. Н., & Сороколетова В. М. 2024. The effect of heat stress on the fertilization of sows and litter size. *Аграрный Вестник Урала*. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-754-765>