

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE COMPUTACIÓN

Tema: “Técnicas de aprendizaje automático para la identificación del nivel de estrés en bovinos”

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingenieros en Ciencias de la Computación

AUTORES: Andrade Taramuel Brayán Stiven

Tulcán Cortez Erika Johanna

TUTOR: Ing. Lascano Rivera Samuel Benjamín MSc

Tulcán, 2024.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que los estudiantes Andrade Taramuel Brayan Stiven y Tulcán Cortez Erika Johanna con el número de cédula 0401670476 y 0401824883 respectivamente han desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Técnicas de aprendizaje automático para la identificación del nivel de estrés en bovinos"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva

Ing. Lascano Rivera Samuel Benjamín MSc

TUTOR

Tulcán, julio de 2024

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingenieros en la Carrera de computación de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Nosotros, Andrade Taramuel Brayan Stiven y Tulcán Cortez Erika Johanna con cédula de identidad número 0401670476 y 0401824883 respectivamente declaramos que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que hemos llegado son de nuestra absoluta responsabilidad.

Andrade Taramuel Brayan Stiven

AUTOR

Tulcán Cortez Erika Johanna

AUTORA

Tulcán, julio de 2024

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Nosotros Andrade Taramuel Brayan Stiven y Tulcán Cortez Erika Johanna declaramos ser autores de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Técnicas de aprendizaje automático para la identificación del nivel de estrés en bovinos" y se exime expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Andrade Taramuel Brayan Stiven

AUTOR



Tulcán Cortez Erika Johanna

AUTORA

Tulcán, julio de 2024

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestra más sincera gratitud a nuestro tutor de tesis, queridos maestros de la carrera, familiares y amigos más cercanos, por el apoyo que nos han brindado durante el desarrollo y finalización de nuestra tesis. Su guía y orientación fueron esenciales para que pudiéramos avanzar con éxito en nuestra investigación y superar los obstáculos que se presentaron a lo largo del camino.

En particular, queremos agradecer a nuestro tutor de tesis el Msc. Samuel Lascano, por su paciencia, dedicación y perspectiva crítica. Su apoyo constante y compromiso con nuestro proyecto han sido fundamentales para nuestro crecimiento como investigadores y para la calidad final de esta tesis. ¡Gracias por creer en nosotros!

Agradecemos profundamente a la carrera de Ingeniería en Computación y a todos sus docentes, quienes con paciencia y compromiso compartieron sus conocimientos y experiencias, contribuyendo significativamente a nuestro crecimiento tanto personal como académico.

Finalmente, agradecemos a nuestras familias y amigos por su apoyo incondicional, paciencia y motivación a lo largo de este proceso. Su amor y comprensión han sido pilares fundamentales para alcanzar esta meta.

Brayan Stiven Andrade Taramuel
Erika Johanna Tulcán Cortez

DEDICATORIA

"A mi querida madre, Rosa Magdalena Tulcán Cortez, y a mis amados abuelitos, Segundo Tulcán y Fabiola Cortez.

Dedico esta tesis a los que han estado siempre a mi lado, apoyándome y cuidándome con dedicación y amor. Su influencia en mi vida ha sido decisiva para que llegue a este momento, y es un honor para mí dedicar este trabajo a ellos.

A mi madre, gracias por ser mi roca, mi sostén emocional y mi guía. Su dedicación y compromiso han sido un ejemplo a seguir para mí, y espero que esta tesis sea un reflejo de la fe que siempre ha tenido en mí.

A mis abuelitos, gracias por su amor y apoyo incondicional. Su sabiduría, experiencia y amor me han enseñado a valorar la educación y el trabajo duro. Su presencia en mi vida ha sido una bendición, y espero que esta tesis les sea un recordatorio de que nuestra familia puede hacer grandes cosas juntos.

Dedico este trabajo a los tres que han sido una parte integral de mi historia y de mi formación. Es un gesto público de mi agradecimiento y respeto por todo lo que han hecho por mí.

Muchas gracias,
Erika Johanna Tulcán Cortez

ÍNDICE

ÍNDICE	7
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
INTRODUCCIÓN	17
I. EL PROBLEMA	19
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.3. JUSTIFICACIÓN	20
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	21
1.4.1. Objetivo General	21
1.4.2. Objetivos Específicos	22
1.4.3. Preguntas de Investigación.....	22
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	23
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.2. MARCO TEÓRICO	26
2.2.1. Ciencias de la computación	26
2.2.2. Inteligencia artificial	27
2.2.3. Ciencia de datos	27
2.2.4. Metodología (CRISP-DM)	27
2.2.5. Etapas CRISP-DM.....	28
2.2.6. Minería de datos	28
2.2.7. Reconocimiento de patrones.....	29
2.2.8. Ingeniería de requisitos	30
2.2.9. Aprendizaje automático.....	30

2.2.10. Algoritmos de aprendizaje automático	31
2.2.11. Algoritmos de aprendizaje automático utilizados en la ganadería	33
2.2.12. Estrés bovino	48
2.2.13. Constantes fisiológicas en bovinos	49
2.2.14. Tipos de estrés en bovinos	50
2.2.15. Índices de estrés.....	51
2.2.16. Ciclo circadiano	53
2.2.17. Monitoreo y control animal	53
2.2.18. Ganadería de precisión.....	54
2.2.19. Bienestar animal.....	55
2.2.20. Psicobiología	56
2.2.21. Ciencia animal – Zootecnia	56
III. METODOLOGÍA	58
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	58
3.1.1. Enfoque	58
3.1.2. Tipo de Investigación	58
3.2. IDEA A DEFENDER	60
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	60
3.3.1. Definición de las variables.....	60
3.3.2. Operacionalización de las variables	61
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	62
3.4.1. Métodos utilizados	62
3.4.2. Técnicas utilizadas	63
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	63
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
4.1. RESULTADOS	74

4.1.1. Indicadores fisiológicos	74
4.1.2. Ritmo circadiano.....	76
4.1.3. Algoritmos seleccionados	82
4.1.4. Entrenamiento de algoritmos.....	84
4.1.5. Análisis de algoritmos	85
4.2. DISCUSIÓN.....	96
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
5.1. CONCLUSIONES	99
5.2. RECOMENDACIONES	100
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
VII. ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de algoritmos de ML	31
Tabla 2. Revisión de artículos científicos sobre estrés y ML.....	35
Tabla 3. Tipos de estrés presentes en bovinos	50
Tabla 4. Variable independiente.....	61
Tabla 5. Variable dependiente.....	61
Tabla 6. Población o muestra.....	64
Tabla 7. Promedio mensual de actividades Vaca_1 "Cris"	64
Tabla 8. Promedio mensual de actividades Vaca_2 "Mariana"	65
Tabla 9. Promedio mensual de actividades Vaca_3 "Flor"	66
Tabla 10. Promedio mensual de actividades Vaca_4 "Chela"	67
Tabla 11. Promedio mensual de actividades Vaca_468 "Joya"	68
Tabla 12. Promedio mensual de actividades Vaca_479 "Mishu"	69
Tabla 13. Promedio mensual de actividades Vaca_4003 "Elyna"	70
Tabla 14. Promedio mensual de actividades Vaca_4151 "Rosita".....	70
Tabla 15. Promedio mensual de actividades Vaca_4160 "Luisa"	71
Tabla 16. Promedio mensual de actividades Vaca_4173 "Karol"	72
Tabla 17. Ponderaciones para calcular el Nivel de actividad	77
Tabla 18. Ciclo circadiano diario y promedio	78
Tabla 19. Métricas de evaluación de RF	85
Tabla 20. Métricas de evaluación de KNN.....	86
Tabla 21. Métricas de evaluación de CNN.....	87
Tabla 22. Métricas de evaluación de SVM	88
Tabla 23. Métricas de evaluación de XGBoots	89
Tabla 24. Métricas de evaluación de LSTM.....	90
Tabla 25. Métricas de evaluación de ANN	91

Tabla 26. Métricas de evaluación de DNN	92
Tabla 27. Comparativa de los algoritmos evaluados.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El ciclo de vida de la ciencia de datos.....	27
Figura 2. Criterios de selección	33
Figura 3. Algoritmo de ML más eficiente	47
Figura 4. Signos visibles y consecuencias del estrés.....	49
Figura 5. Índice de temperatura humedad (ITH)	52
Figura 6. Sensación térmica en frio (Wind Chill)	53
Figura 7. Nedap CowControl™	54
Figura 8. Promedio mensual de actividades Vaca_1 "Cris"	65
Figura 9. Promedio mensual de actividades Vaca_2 "Mariana"	66
Figura 10. Promedio mensual de actividades Vaca_3 "Flor"	67
Figura 11. Promedio mensual de actividades Vaca_4 "Chela"	67
Figura 12. Promedio mensual de actividades Vaca_468 "Joya"	68
Figura 13. Promedio mensual de actividades Vaca_479 "Mishu"	69
Figura 14. Promedio mensual de actividades Vaca_4003 "Elyna".....	70
Figura 15. Promedio mensual de actividades Vaca_4151 "Rosita".....	71
Figura 16. Promedio mensual de actividades Vaca_4160 "Luisa"	72
Figura 17. Promedio mensual de actividades Vaca_4173 "Karol"	73
Figura 18. Modelo de desarrollo	74
Figura 19. Evaluación del Algoritmo de RF	86
Figura 20. Evaluación del Algoritmo de KNN	87
Figura 21. Evaluación del Algoritmo de CNN	88
Figura 22. Evaluación del Algoritmo de SVM	89
Figura 23. Evaluación del Algoritmo de XGBoots.....	90
Figura 24. Evaluación del Algoritmo de LSTM	91
Figura 25. Evaluación del Algoritmo de ANN.....	92

Figura 26. Evaluación del Algoritmo de DNN.....	93
Figura 27. Comparativa de algoritmos evaluados	94
Figura 28. Exactitud de los modelos evaluados	94
Figura 29. Evaluación de los algoritmos en base a la AUC	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC.....	107
Anexos 2. Certificado del abstract por parte de idiomas	109
Anexos 3. Entrevistas a experto en agropecuaria 1	110
Anexos 4. Entrevistas a experto en agropecuaria 2	112
Anexos 5. Entrevistas a experto en agropecuaria 3	114
Anexos 6. Constancia de juicio de experto 1	117
Anexos 7. Constancia de juicio de experto 2.....	118

RESUMEN

Esta investigación analiza diversas técnicas de aprendizaje automático para identificar los niveles de estrés en bovinos, un factor crucial para su bienestar y productividad. Mediante una revisión exhaustiva de la literatura, se determinaron los factores fisiológicos y comportamentales que influyen en el estrés bovino, así como las técnicas más eficientes para su detección. Se recopilaron y preprocesaron datos de las actividades básicas como son: rumia, comida y descanso, para garantizar su calidad y adecuación en la evaluación de algoritmos. Para predecir el nivel de estrés, se implementaron y compararon varios modelos de aprendizaje automático, incluyendo bosques aleatorios, k-vecinos más cercanos (KNN), máquinas de soporte vectorial (LSTM), XGBoost, redes neuronales convolucionales (CNN), redes neuronales artificiales (ANN), redes de memoria a largo y corto plazo (LSTM) y redes neuronales profundas (DNN). La evaluación de estos modelos se llevó a cabo utilizando métricas de rendimiento como precisión, exactitud, recuperación, F1 y AUC. Los resultados mostraron que las CNN, DNN y LSTM fueron particularmente efectivas para el análisis de estrés en bovinos, superando a otros modelos en términos de precisión y capacidad de generalización. En conclusión, las técnicas de aprendizaje automático demostraron ser herramientas valiosas para la gestión del estrés en bovinos, ofreciendo un enfoque innovador para mejorar su bienestar y productividad. Este estudio destaca la importancia de continuar desarrollando y refinando estas técnicas para su aplicación en la industria ganadera.

Palabras Clave: estrés, bovino, aprendizaje automático, ciclo circadiano, nivel de actividad, ITH, sensación térmica.

ABSTRACT

This research analyzes various machine learning techniques to identify stress levels in cattle, a crucial factor for their well-being and productivity. Through an exhaustive review of the literature, the physiological and behavioral factors that influence bovine stress were determined, as well as the most efficient techniques for its detection. Data from basic activities such as rumination, eating and resting were collected and preprocessed to ensure their quality and suitability in the evaluation of algorithms. To predict the stress level, several machine learning models were implemented and compared, including random forests, k-nearest neighbors (KNN), support vector machines (LSTM), XGBoost, convolutional neural networks (CNN), artificial neural networks (ANN), long short-term memory networks (LSTM) and deep neural networks (DNN). The evaluation of these models was carried out using performance metrics such as precision, accuracy, recall, F1 and AUC. The results showed that CNNs, DNNs and LSTMs were particularly effective for stress analysis in cattle, outperforming other models in terms of accuracy and generalization capacity. In conclusion, machine learning techniques proved to be valuable tools for stress management in cattle, offering an innovative approach to improve their welfare and productivity. This study highlights the importance of continuing to develop and refine these techniques for their application in the livestock industry.

Keywords: stress, bovine, machine learning, circadian cycle, activity level, ITH, thermal sensation.

INTRODUCCIÓN

El estrés bovino es una preocupación crítica en la industria ganadera mundial debido a sus efectos adversos sobre la salud, el bienestar y la productividad de los animales. La identificación temprana y la mitigación del estrés de los bovinos no solo mejoran la calidad de vida, sino que también optimizan la productividad general.

La provincia de Carchi, ubicada en el extremo norte del callejón interandino de Ecuador, se destaca como una región agroganadera donde la adopción de tecnología avanzada sigue siendo baja. En este contexto, la mayor parte de los ganaderos realizan el cuidado de los bovinos de forma tradicional, lo que a menudo resulta en un control inadecuado del estrés y un manejo deficiente de las condiciones que afectan su bienestar.

Esta investigación está dirigida a responder ¿Qué técnicas de aprendizaje automático permiten evaluar el nivel de estrés en bovinos?, teniendo como objetivo evaluar varias técnicas de aprendizaje automático en términos de identificación del nivel de estrés, utilizando los datos recolectados en el centro experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi a través de collares inteligentes en el año 2024.

En el marco teórico se describen los aspectos esenciales del aprendizaje automático, así como el esquema metodológico de CRISP-DM y los ámbitos de estudio, relacionados con los índices de estrés en bovinos, ciclo circadiano, ITH y Wind Chill. Además, se realizó un análisis literario de 52 artículos científicos que mencionan la utilización de aprendizaje automático en la ganadería de precisión, destacando los mejores algoritmos para identificar anomalías de estrés y enfermedades, de los cuales se seleccionaron, bosques aleatorios, k-vecinos más cercanos (KNN), máquinas vectoriales de soporte (SVM), XGBoost, redes neuronales convolucionales (CNN), redes neuronales artificiales (ANN), memoria a largo y corto plazo (LSTM), redes neuronales profundas (DNN).

Se recolectaron datos de cuatro períodos, alimentación, rumia, descanso y otros, posteriormente procesados para determinar los tiempos de cada periodo por horas. El nivel de actividad y pesos de los bovinos fueron determinados por el análisis

factorial de correlación. El ciclo circadiano se obtuvo a través de la transformada rápida de Fourier y la distancia euclidiana se utilizó para medir las diferencias entre los ciclos diarios y un ciclo promedio, con los resultados de la distancia euclidiana y la utilización de índices de estrés ITH y Wind Chill se establecieron los niveles de estrés. Se evaluaron los algoritmos utilizando métricas estándar como exactitud, precisión, recuperación, F1 y AUC, identificando las redes neuronales convolucionales (CNN), redes neuronales profundas (DNN) y memoria a corto y largo plazo (LSTM) como las más eficientes para predecir los niveles de estrés en bovinos.

Esta investigación no solo busca contribuir a la ganadería de precisión, si no también promover el uso de métodos de aprendizaje automático, lo que dará lugar a soluciones innovadoras y eficientes para gestionar el bienestar animal.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En América Latina, la Inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático han tenido un impacto significativo en diversas actividades, brindando beneficios como el aumento de la capacidad de procesamiento de información y la creación de algoritmos de toma de decisiones capaces de aprender y mejorar continuamente (Weck & Salazar Solís, 2020). Un ejemplo destacado en la región es el proyecto "Vaca Conectada" lanzado por SONDA, el cual utiliza tecnologías como Internet de las cosas (IoT) e inteligencia artificial para mejorar la supervisión de toda la cadena productiva de la leche (SONDA, 2022). Asimismo, los avances en inteligencia artificial han permitido al aprendizaje automático asumir tareas, procesar datos, estructurar nueva información para realizar funciones y comportamientos similares a los humanos, permitiendo de igual manera simplificar las tareas complejas que estos realizan (Fernández de Silva, 2023). Esta capacidad abre nuevas oportunidades para optimizar procesos, mejorar la toma de decisiones, y potenciar el rendimiento en diversos sectores.

El estrés en los bovinos es un problema que impacta negativamente en el bienestar y su desempeño. Este fenómeno puede desencadenar una serie de efectos perjudiciales, como la disminución de la productividad, problemas de salud, la reducción de la ingesta de alimento y de la rumia, la disminución de la fertilidad, y cambios de comportamiento (PALMA, 2023). Las causas del estrés son variadas e incluyen cambios en el ambiente, condiciones climáticas extremas, manejo inadecuado, espacios reducidos, y falta de interacción social (Pérez Luis Ricardo, 2024). Como se menciona, el estrés bovino es consecuencia de un conjunto de factores, los mismos que repercuten en la salud del animal, en la revista "Mexicana De Ciencias Pecuarias" se menciona que el calor y la humedad son las causantes de la muerte para algunos bovinos en caso de sobrepasar el nivel tolerante de temperatura (Correa-Calderón et al., 2022). Por otra parte, Polansek (2023), menciona

“Cientos de cabezas de ganado murieron en Iowa por el calor y la humedad extremos a fines de julio.”

El estrés bovino es una preocupación significativa en la industria ganadera debido a sus efectos negativos en la salud y el bienestar de los animales, así como en la producción y eficiencia general. La identificación y mitigación temprana del estrés en los bovinos son fundamentales para garantizar su calidad de vida y maximizar la productividad ganadera. Sin embargo, el estrés bovino es un fenómeno complejo que puede ser desencadenado por una variedad de factores, lo que dificulta su detección y prevención (Bobadilla & Huertas, 2022).

La Provincia del Carchi está ubicada en el extremo norte del callejón interandino de Ecuador, entre los paralelos 1° 12' 43" y 0° 21' 50" de latitud norte y los meridianos 77° 31' 36" y 78 33' 12" de longitud occidental al norte de Ecuador, se caracteriza por ser una zona agroganadera donde el uso de tecnología inteligente no se ha adentrado mucho a estos campos.

En Provincia del Carchi se lleva un cuidado tradicional de los bovinos, presentando un control deficiente del estrés, así como del cuidado y muchas veces sin tomar en cuenta las distintas afecciones a causa de estos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué técnicas de aprendizaje automático permiten evaluar el nivel de estrés en bovinos, en el centro experimental San Francisco-Huaca de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi en el periodo 2024?

1.3. JUSTIFICACIÓN

En la provincia del Carchi, la industria bovina es una de las actividades más importantes dentro de la economía ecuatoriana. Según la Dirección de Desarrollo Económico (2020), El Carchi es la tercera provincia en producción de leche con 8.957 haciendas ganaderas con 142.458 cabezas de ganado que producen 408.006 litros de leche por día. El estudio exhaustivo del estrés en bovinos adquiere una relevancia crítica por su potencial impacto en el rendimiento y producción en la provincia del Carchi y en todo el territorio ecuatoriano. Una mejor comprensión de los estresores, su influencia en el comportamiento y bienestar permitirá una toma de decisiones más

informada respecto al manejo de los bovinos, lo que a su vez se traducirá en mejoras significativas en la productividad y beneficios para los productores ganaderos (Rogerio, 2023).

En este contexto, el uso de técnicas de aprendizaje automático se presenta como una herramienta prometedora para abordar el problema del estrés bovino. Estas técnicas permiten analizar grandes conjuntos de datos recopilados de los animales, incluyendo datos fisiológicos, comportamentales, ambientales, extraer patrones y características relevantes que pueden indicar la presencia de estrés. Algoritmos de Machine Learning (ML), como redes neuronales o algoritmos de clasificación, pueden ser entrenados utilizando conjuntos de datos etiquetados, donde se conocen los casos de estrés y no estrés, lo que permite a la computadora aprender a distinguir entre ellos y hacer predicciones precisas en nuevos casos.

El uso de técnicas de aprendizaje automático, como el Machine Learning (ML), en el estudio del estrés bovino es importante y relevante debido a su capacidad para analizar datos complejos y heterogéneos de manera eficiente y precisa. Esto permite identificar patrones o relaciones que podrían no ser evidentes a simple vista y proporciona nuevas perspectivas y conocimientos sobre el estrés bovino. Además, estas técnicas pueden mejorar la productividad ganadera, el bienestar de los bovinos y los avances científicos en la ganadería, lo que las hace relevantes para la industria y la comunidad científica.

Este proyecto de investigación recopila datos biométricos de 10 vacas ubicadas en el centro experimental San Francisco (UPEC) en el cantón Huaca, lo que permitirá evaluar el nivel de estrés a través de técnicas de aprendizaje automático. Promoviendo la utilización de técnicas inteligentes en el cuidado bovino, dando paso a una adecuada toma de decisiones que garantice la salud y el bienestar animal.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar técnicas de aprendizaje automático para la identificación del nivel de estrés en bovinos a través de datos recolectados en el centro experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Establecer los indicadores fisiológicos y comportamentales para la determinación del nivel de estrés en bovinos el centro experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
- Seleccionar los algoritmos de aprendizaje automático (ML) para la identificación del nivel de estrés en bovinos el centro experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
- Analizar el desempeño de los modelos, comparando su precisión, sensibilidad y especificidad en la identificación del nivel de estrés en bovinos el centro experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Qué indicadores fisiológicos y comportamentales pueden ser utilizados para determinar el nivel de estrés en bovinos?
- ¿Cuáles son las técnicas de aprendizaje automático que se pueden utilizar para evaluar el nivel de estrés en bovinos?
- ¿Qué tan preciso, sensible y específico es el rendimiento de los modelos de ML para la identificación del nivel de estrés en bovinos?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Un estudio publicado en la Revista de ciencia láctea titulado “Predicción del calor de los bovinos lechero utilizando técnicas de aprendizaje automático” (Becker et al., 2021). Este estudio buscó evaluar la gravedad del estrés por calor en vacas lecheras mediante un sistema de puntuación que varió de 1 a 4 en donde 1 = sin estrés térmico; 2 = estrés térmico leve; 3 = estrés térmico severo; 4 = moribundo, y predecir la precisión del sistema utilizando técnicas de ML como regresión logística, bayesiano, ingenuo gaussiano y bosque aleatorio. Se consideraron tres tratamientos diferentes para reducir el calor en las vacas: estructura de sombra portátil, sistema de aspersion de tubería de cloruro de polivinilo portátil y control sin reducción de calor. Los resultados indicaron que el bosque aleatorio fue el método más preciso para predecir la puntuación del grupo de rociadores, mientras que la regresión logística fue mejor para predecir vacas estresadas por calor en control, sombra y combinadas.

En la revista Livestock Science, se encuentra un artículo titulado “Imágenes térmicas combinadas con un modelo basado en aprendizaje automático predictivo para el desarrollo de clasificadores de niveles de estrés térmico”. El estudio realizado por Pacheco et al. (2020) abordan el tema sobre el estrés térmico en vacas lecheras como un problema que puede afectar su eficiencia productiva y bienestar. La termografía infrarroja (IRT) es una herramienta no invasiva que ha demostrado ser eficaz para monitorear la temperatura superficial de los animales. Se establecieron y evaluaron modelos basados en aprendizaje automático para la evaluación individual de los niveles de estrés térmico, considerando factores climáticos y animales. Se realizó un experimento con 26 vacas lactantes, monitoreadas durante el verano y el invierno, para adquirir datos fisiológicos y meteorológicos. Se analizó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la parte del cuerpo ideal para el modelado computacional. Los modelos Redes Neuronales Artificiales (ANN)

demonstraron una mejor capacidad predictiva en comparación con los métodos tradicionales de clasificación para los niveles de estrés térmico.

En el artículo titulado "La transformación digital de la ganadería: implementación de tecnologías nuevas y emergentes utilizando inteligencia artificial" (Fuentes et al., 2022). Este artículo cita los avances en el monitoreo inteligente de los bovinos que utilizan tecnologías digitales e inteligencia artificial para medir objetivamente el estrés, evaluar su impacto en el bienestar y la productividad. Vale la pena señalar que los métodos de medición tradicionales, como pruebas invasivas y sensores táctiles, pueden no ser capaces de monitorear continuamente un gran número de bovinos en una granja. Además, estos métodos pueden causar estrés en los bovinos y causar sesgos en el análisis de datos. Es importante enfatizar que los avances digitales en tecnología de sensores, Internet de las cosas, visión e inteligencia artificial están automatizando e integrando una variedad de métodos para evaluar la salud y el bienestar de los animales. Se mencionan tecnologías como sensores remotos, collares digitales y sensores de contacto mínimo. Además, se menciona el uso de métodos de aprendizaje automático y profundo para predecir el estrés animal y otros parámetros de bienestar. Se mencionaron varios proyectos piloto que utilizan IA para evaluar el estrés por calor de los animales, el bienestar del transporte agrícola y animal, y la trazabilidad de las emisiones de gases de efecto invernadero y animales.

En la Biblioteca digital de la Universidad de São Paulo (USP) se encuentra una Tesis de maestría escrita por Rodrigues (2022), con el título "Evaluación no invasiva del estrés por calor en los bovinos: un enfoque basado en el aprendizaje automático y la termografía infrarroja". El trabajo de maestría describe el uso de la tecnología no invasiva y algoritmos para predecir el estrés térmico en los bovinos lechero mediante mediciones automáticas. El proyecto se enfoca en desarrollar y probar modelos computacionales para predecir el estrés térmico en ganado lechero usando datos obtenidos de un experimento en una cámara climática. El experimento duró 45 días con 10 terneras Holstein divididos en dos grupos, los bovinos fueron expuestos a dos olas de calor en la cámara climática (sistema Tie Stall). Se recopilaron datos de temperatura rectal, frecuencia respiratoria y termografía infrarroja (IRT) de diferentes partes del cuerpo (ojo, frente, costilla y flanco). Se evaluaron diferentes algoritmos de aprendizaje automático: redes neuronales artificiales, máquina de vectores de soporte, árbol de decisión y k-vecinos más cercanos, para clasificar el nivel de estrés

térmico, en donde se descubrió que los mejores resultados se obtuvieron con Random Forest y Support Vector Machine. El trabajo de maestría concluye que la tecnología TIV combinada con algoritmos de aprendizaje automático puede ser utilizada para predecir con precisión el estrés térmico en los bovinos lechero.

En el artículo titulado "Hacia un nuevo método para detectar comportamientos atípicos de acostarse y levantarse en vacas lecheras utilizando acelerómetros y aprendizaje automático", (Brouwers et al., 2023) menciona que el uso de algoritmos recientemente desarrollados para clasificar series temporales multivariadas y monitorear el comportamiento de las vacas lecheras es uno de los elementos principales de este artículo. Sin embargo, los métodos convencionales de evaluación de instalaciones que se basan en una observación manual y análisis de imágenes, que dependen en gran medida del juicio y la experiencia de los investigadores, pueden ser ineficaces. Los algoritmos de clasificación de series temporales multivariadas más recientes, como MiniRocket, HIVE-COTE 2.0 e InceptionTime, han cambiado la forma en que se registra el comportamiento de las vacas lecheras al mismo tiempo. Estos métodos se utilizan específicamente para clasificar la serie temporal de los registros de acelerómetro de cada vaca.

Un artículo publicado en la revista Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science titulado "Estudio comparativo sobre enfoques de inteligencia artificial basados en datos de series temporales para clasificar el comportamiento alimentario de los bovinos" (El Moutaouakil & Falih, 2024) menciona que el comportamiento alimentario de los bovinos juega un papel crítico en su estado general de salud. La productividad y el bienestar general de los bovinos son proporcionales a la naturaleza de su dieta. Los dispositivos sensoriales modernos, facilitan a una persona la monitorización y clasificación del comportamiento alimentario de los bovinos. Otros dispositivos, como un rastreador GPS y un dispositivo de visión por computadora, aumentan la eficiencia de la recolección y el análisis de datos del comportamiento animal.

En el artículo titulado "Uso de la tecnología de sensores montados en bovinos y el aprendizaje automático para predecir el tiempo hasta el parto en vacas de carne y leche" (Miller et al., 2020) publicado en la revista Animal destaca que el aumento del tamaño de los rebaños en los sectores de carne y lácteos reduce el tiempo disponible para monitorear individualmente a los animales. En las horas antes del parto, las vacas

presentan cambios en su comportamiento, incluido el tiempo de rumia y alimentación reducido, más actividad y eventos de elevación de la cola, que son monitoreables de manera no invasiva con sensores montados en los bovinos y útiles para prever el parto. Se crearon algoritmos de bosques aleatorios para prever el parto utilizando datos de un solo sensor y de varios sensores. El modelo TAIL fue el mejor predictor del parto en un horario de 5 horas para la carne de vaca con un MCC de 0.31, luego le siguió para las vacas lecheras con un MCC de 0.29. La combinación de TAIL, RUM y EAT tuvo una eficacia similar con un MCC de 0.32. Los sensores de cola que están solos también fueron suficientes para predecir el parto, y el tiempo óptimo fue en 2 horas antes del parto.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Ciencias de la computación

La ciencia de la computación "es una disciplina centrada en el análisis de las computaciones o los procesos computacionales llamados algoritmos, con el fin de obtener mejores programas de computadora para cambiar el campo de la informática". Se trata de diseño y aplicaciones de las herramientas computacionales para resolver problemas en particular (Llamas, 2021).

En la ganadería, las ciencias de la computación tienen un valor importante, porque las soluciones automatizadas, la gestión de los datos, el monitoreo, la salud animal en general, la mejora genética y la gestión de los recursos naturales y otros se basan activamente en la informática. Gracias a ellos, los criadores reciben información para tomar decisiones más informadas. También se logra la producción óptima, así como la eficiencia que ahorra la explotación de todas sus ramas. Por lo tanto, la ganadería moderna mejora la sostenibilidad y la productividad (BM Editores, 2024).

Además, la integración de la IA ampliará aún más la intersección de las ciencias computacionales con la ganadería. La IA ofrece capacidades avanzadas de análisis de datos y toma de decisiones, que permitirán a los ganaderos explotar aún más el potencial de sus emprendimientos a través de sistemas inteligentes de monitoreo y gestión de los bovinos, aumentando así la productividad y la sostenibilidad en esta industria en constante evolución (Navarro et al., 2024).

2.2.2. Inteligencia artificial

Desde el punto de vista social, la IA ha tenido un impacto significativo en la sociedad y es responsable de varias evoluciones que han hecho muchas actividades diarias más eficientes. El tema específico es muy popular en los medios actuales y las revistas científicas, y eso se debe a los considerables logros que se han obtenido, muchos a través del avance del aprendizaje automático que menciona ya son conocidos por mucha gente. Por un lado, la IA puede mostrar máquinas que pueden razonar, reconocen y también son creativas; al mismo tiempo, hacen posible para las personas analizar los datos de una manera mucho más profunda y precisa (Pedraza Caro, 2023).

2.2.3. Ciencia de datos

La ciencia de datos es considerada como un campo interdisciplinario que combina técnicas y teorías de diferentes disciplinas, como matemática, estadística, informática y áreas específicas del conocimiento, para extraer información y conocimientos de datos. Además, se involucran procesos como la recolección de datos, limpieza, análisis, visualización e interpretación de grandes volúmenes de datos que permiten la toma de decisiones informadas, permitiendo identificar patrones, tendencias y desarrollar modelos predictivos (Crabtree & Nehme, 2024).

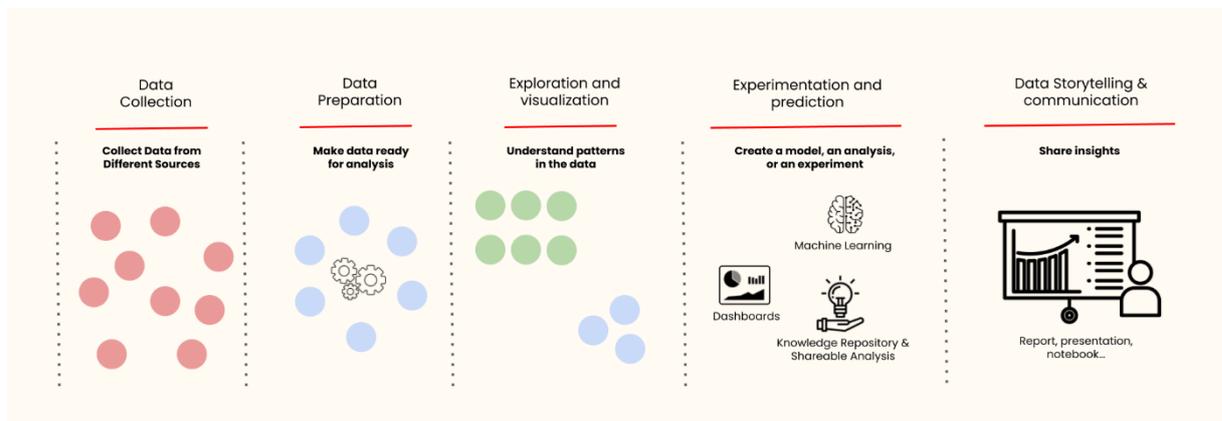


Figura 1. El ciclo de vida de la ciencia de datos
Fuente. Extraído de (Crabtree & Nehme, 2024)

2.2.4. Metodología (CRISP-DM)

Lo que se denomina Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) se refiere a una metodología que actualmente está siendo muy utilizada en lo que

respecta a la minería de datos y el análisis predictivo, de tal manera que es considerada la más estructurada y eficaz. Cabe recalcar que su uso incluye 6 etapas que se deben llevar a cabo para la aplicación correcta y efectiva de esta metodología, ofreciendo una estructura clara que permita asegurar la calidad de cada uno de los procesos y maximizar la calidad de los resultados obtenidos (Miller et al., 2020).

2.2.5. Etapas CRISP-DM

Gabriela et al. (2021) en su artículo denominado "Metodología CRISP-DM en la gestión de proyectos de Data Mining. Caso enfermedades dermatológicas" menciona y describe cada una de las etapas del CRISP-DM, las cuales son:

- **Comprensión del problema:** en esta etapa se debe establecer de manera clara y precisa el objetivo que se desea alcanzar, así como los límites y alcance del proyecto.
- **Comprensión de los datos:** se debe realizar un acercamiento para tener conocimiento del problema, transformándolo en un objetivo cuantificable y medible.
- **Preparación de los datos:** esta etapa es fundamental para el tratamiento de datos, ya que en ella se realiza la depuración, transformación y mejora de estos orientándolos hacia el objetivo del proyecto.
- **Modelado:** aquí se procede a utilizar los datos que permitirán realizar el análisis estadístico, modelización y minería de datos correspondiente.
- **Evaluación:** se realizan las evaluaciones y validación de los resultados posteriores al análisis mediante técnicas y métricas.
- **Implementación:** finalmente se implementa la solución de acuerdo a los resultados obtenidos y el monitoreo correspondiente al desempeño.

2.2.6. Minería de datos

La minería de datos implica explorar extensas bases de datos en busca de información valiosa que pueda ser aprovechada en la toma de decisiones. También se conoce como "data mining" en inglés. El software de minería de datos se encuentra entre las herramientas analíticas utilizadas para examinar datos, permitiendo a los

usuarios analizar datos desde diversas perspectivas, categorizar información y resumir las relaciones descubiertas (Coppola, 2023).

- **Etapas de la minería de datos**

En la minería de datos, se pueden identificar cinco etapas clave:

- **Definición de Objetivos y Recopilación de Datos:** En esta fase inicial, se determina el propósito de la minería de datos, estableciendo qué información es necesaria recolectar.
- **Procesamiento y Gestión de Datos:** Esta etapa puede ser compleja, ya que implica seleccionar una muestra representativa para el análisis y determinar qué variables o modelos de regresión se utilizarán.
- **Selección del Modelo:** Se trata de desarrollar un modelo o algoritmo que genere resultados óptimos, para ello se realiza un análisis exhaustivo de las variables que se incorporarán al modelo, dependiendo de la naturaleza de los datos.
- **Análisis y Evaluación de Resultados:** Aquí se analizan los resultados obtenidos para asegurarse de que ofrecen una explicación lógica y útil. Estos resultados deben respaldar la toma de decisiones basadas en la información proporcionada.
- **Actualización del Modelo:** La última etapa del proceso implica la actualización continua del modelo. Esto es esencial para evitar que se vuelva obsoleto con el tiempo, ya que las variables pueden cambiar su relevancia. Se requiere un monitoreo periódico y realizar ajustes según sea necesario.

2.2.7. Reconocimiento de patrones

El reconocimiento de patrones es una disciplina que se dedica a identificar y clasificar objetos o datos en grupos basándose en las características distintivas que poseen. En este proceso, se busca reconocer formas, figuras o patrones en los objetos estudiados, asignándolos a clases específicas en función de sus atributos conocidos. Esto permite obtener información valiosa sobre los objetos analizados y facilita su categorización en grupos con características similares, todo ello a través del análisis y comprensión de patrones previamente definidos (CEUPE, 2022).

El reconocimiento de patrones desempeña un papel fundamental y se vincula estrechamente con la inteligencia artificial. La detección de características y

patrones contribuye a la creación de programas más efectivos, eficientes y comprensibles. La inteligencia artificial se beneficia significativamente de estas técnicas, ya que, al reconocer patrones en grandes conjuntos de datos, puede aprender y tomar decisiones basadas en características, lo que impulsa el desarrollo de sistemas inteligentes y autónomos.

2.2.8. Ingeniería de requisitos

La ingeniería de requisitos se presenta como una disciplina de la ingeniería de software que se encarga de determinar las necesidades o condiciones para el desarrollo de un nuevo producto o modificación en el cual se indica el problema que se planea resolver, recopila, analiza, valida y gestiona los diferentes requisitos. Posteriormente involucra a los stakeholders (usuarios, clientes) para entender sus necesidades y expectativas (Rouse, 2024).

2.2.9. Aprendizaje automático

El aprendizaje automático es denominado como un campo de la inteligencia artificial con la capacidad de permitir a los sistemas informáticos tener un aprendizaje constante que mejora continuamente gracias a las experiencias que vaya generando y datos disponibles, sin la necesidad de encontrarse programados directamente. Dicho de otra manera, se refiere a la capacidad de los sistemas para la identificación de patrones y regularidades en los datos y de la capacidad de utilizarlos para realizar predicciones futuras que permiten la toma de decisiones (Pineda Pertuz, 2022).

En el contexto de la ganadería, el aprendizaje automático puede revolucionar aún más la gestión, al permitir a las máquinas analizar patrones y tomar decisiones precisas basadas en datos históricos, mejorando la productividad y la eficiencia en la cría de bovinos de manera sin precedentes.

- **Tipo de aprendizaje.**

- **Aprendizaje supervisado**

El aprendizaje supervisado utiliza conjuntos de datos etiquetados para entrenar modelos. Hay dos tipos de modelos de aprendizaje supervisado: los de clasificación, que producen una etiqueta discreta para clasificar datos en un conjunto finito de etiquetas, y los de regresión, que producen un valor real como salida (Robotics, 2021).

– **Aprendizaje no supervisado**

El aprendizaje no supervisado se aplica a datos no etiquetados para extraer conocimiento o agrupar entidades por afinidad. Los algoritmos no supervisados pueden usarse para reducir la dimensionalidad o simplificar conjuntos de datos, y también se utilizan en clustering para encontrar clientes con características similares. Los algoritmos de reducción de la dimensionalidad se emplean con el propósito de disminuir el número de atributos en un conjunto de datos. Aunque no hay una etiqueta para predecir, los algoritmos deben definir una métrica de similitud o distancia para comparar los datos entre sí. El aprendizaje no supervisado también se aplica en el descubrimiento de tópicos o detección de anomalías (Robotics, 2021).

– **Aprendizaje semisupervisado**

El aprendizaje semi-supervisado combina elementos del aprendizaje supervisado y no supervisado. Este enfoque se aplica cuando no se dispone de un conjunto de datos completamente etiquetado. Primero, se etiquetan manualmente algunos de los datos y se entrena uno o varios algoritmos supervisados, luego se utilizan los modelos para etiquetar el resto de los datos. Finalmente, se entrena un modelo supervisado utilizando las etiquetas generadas y las etiquetas manuales. Un ejemplo de aplicación es el análisis de sentimientos en las redes sociales para estudiar la imagen de marca de una empresa (Robotics, 2021).

2.2.10. Algoritmos de aprendizaje automático

Según artículos de Arya (2022) en KDnuggets y Ray (2024) en Analytics Vidhya, que tratan sobre los algoritmos más utilizados de Machine Learning, se presenta en la Tabla 1 una comparativa de los algoritmos más utilizados:

Tabla 1. Comparativa de algoritmos de ML

Algoritmos	Tipo de aprendizaje	Familia	Características
Regresión lineal	Supervisado	Algoritmos de regresión	<ul style="list-style-type: none">• Usado principalmente en problemas de regresión.• Estima valores a partir de una o varias variables.• Estima la relación entre variables mediante una línea recta.• Ajusta la mejor línea entre variables independientes y dependientes.• Es de dos tipos: simple y múltiple.• Es paramétrica.

Regresión logística	Supervisado	Algoritmos de regresión	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmo de clasificación. • Usado para estimar valores discretos. • Predice la probabilidad de un evento. • Valores de salida entre 0 y 1. • Se divide en tres tipos: binaria, multinomial y ordinaria.
Árboles de decisión	Supervisado	Árboles de decisión	<ul style="list-style-type: none"> • Usado en problemas de clasificación y regresión. • Funciona con variables dependientes, categóricas y continuas. • Divide la población en dos conjuntos homogéneos. • Muestra las entradas y los posibles resultados. • No paramétrico. • Estructura jerárquica.
Bosques aleatorios	Supervisado	Algoritmos combinados o ensamble.	<ul style="list-style-type: none"> • Usado en problemas de clasificación y regresión. • Bosque de árboles de decisión. • Tareas de regresión con variables continuas. • Tareas de clasificación con variables categóricas.
Naive Bayes	Supervisado	Algoritmos probabilísticos	<ul style="list-style-type: none"> • Se basa en el teorema de Bayes. • Calcula probabilidades condicionales. • Trabaja con datos de alta dimensión. • Trabaja con datos categóricos con continuos. • Multiclase. • No es efectivo para modelar relaciones complejas.
Support Vector Machine (SVM)	Supervisado	Aprendizaje basado en instancias.	<ul style="list-style-type: none"> • Método de clasificación y regresión. • Analiza datos a partir de numerosos campos predictivos. • Correlación de datos en un espacio de características. • Utiliza un hiperplano de separación óptima. • Clasificación binaria. • Evita el sobreajuste de los datos.
K - Vecinos más cercanos (Knn)	Supervisado	Aprendizaje basado en instancias.	<ul style="list-style-type: none"> • Método de clasificación y regresión. • Utiliza el concepto de similitud entre puntos dependiendo de su proximidad. • No construye un modelo. • Trabaja en función de la similitud entre instancias. • K es un hiperparámetro crítico. • Utiliza medidas de similitud. • Sensible a escalas. • Sensible a ruidos y valores atípicos. • Implementación sencilla
k-means clustering	No supervisado.	Algoritmos de clustering	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica de agrupamiento basada en similitud. • Grupos de datos homogéneos y heterogéneos. • Determina el valor k mediante el método de codo o silueta.

Análisis de Componentes principales (PCA)	No supervisado.	Algoritmos de reducción de dimensiones	<ul style="list-style-type: none"> Encuentra patrones o estructuras por sí mismos en función de su distancia entre datos y centroides. Escalabilidad Transforma un conjunto de datos en un nuevo espacio de menor dimensión. Independiente de clases o categorías. Suposición de relaciones lineales. Componentes principales a partir de combinaciones lineales. Sensible a la escala. Interpretación de componentes principales. Reducción de ruido.
Gradient Boosting Machine (GBM)	Supervisado	Gradient Boosting	<ul style="list-style-type: none"> Problemas de clasificación y regresión. Entrenamiento secuencial. Minimiza la fusión de pérdida. Previene el sobreajuste y mejora la generalización del modelo. Eficaz con datos desbalanceados. Necesita una configuración adecuada de hiperparámetros.

2.2.11. Algoritmos de aprendizaje automático utilizados en la ganadería

- Criterios de selección.

La selección de artículos literarios para la recolección y análisis de datos se basó según la Figura 2, al igual que en el artículo titulado "Machine Learning para la ganadería de precisión" (Lascano et al, 2024). Estos criterios permiten acceder a fuentes con relevancia temática, actualidad de la fuente y la autoridad del autor o la revista.

Criterio	Definición
CE.1. Tiempo de publicación	Se incluyeron los artículos desarrollados en los últimos 5 años (2019-2023). Las investigaciones se localizaron en inglés y español.
CE. 2. Código de los algoritmos	Se prioriza la selección de artículos científicos, publicados en revistas que identifiquen los algoritmos utilizados.
CE. 3. Atributos o características del conjunto de datos	Se consideraron investigaciones de acuerdo con las características del conjunto de datos, las cuales estarán acorde al análisis del estrés y tipos de mediciones en el ganado bovino.
CE. 4. Acceso al conjunto de datos	Que el artículo sea de libre acceso, es decir que no requiera comprarse.
CE.5. Stress en el ganado	El artículo analiza o estudia el estrés en el ganado

Figura 2. Criterios de selección
Fuente. Extraído de (Lascano et al, 2024)

A partir de los criterios de selección se ha considerado la inclusión de trabajos publicados en revistas indexadas y repositorios web. Para la recolección de los artículos literarios también se ha tomado en cuenta la calidad y confiabilidad de los datos encontrados.

Se ha realizado una revisión científica de 52 artículos que abordan los algoritmos de ML más comúnmente utilizados en los documentos significativos que se detallan en la Tabla 2. Los aspectos considerados en esta revisión se relacionaron con el año de publicación, la revista en la que se publicaron, el cuartil de la revista, el título y los algoritmos utilizados. Esta revisión tiene como objetivo identificar qué algoritmos son los más utilizados en el área de la agropecuaria.

Tabla 2. Revisión de artículos científicos sobre estrés y ML

N°	Cita	Revista/Libro	Cuartil de la revista	Título inglés	Título Español	Algoritmos utilizados
1	(Becker et al., 2021)	Journal of Dairy Science	Q1	Predicting dairy cattle heat stress using machine learning techniques	Predicción del estrés térmico en los bovinos lecheros mediante técnicas de aprendizaje automático.	Regresión logística, Gaussian naïve Bayes y random forest.
2	(Lardy et al., 2023)	Computers and Electronics in Agriculture	Q1	Discriminating pathological, reproductive or stress conditions in cows using machine learning on sensor-based activity data.	Discriminación de condiciones patológicas, reproductivas o de estrés en vacas mediante aprendizaje automático en datos de actividad basados en sensores.	Random forest
3	(Gorczyca & Gebremedhin, 2020)	Computers and Electronics in Agriculture	Q1	Ranking of environmental heat stressors for dairy cows using machine learning algorithms.	Clasificación de los factores de estrés térmico ambiental para las vacas lecheras mediante algoritmos de aprendizaje automático.	Random Forests, Gradient Boosted Machines, Redes neuronales, regresión lineal.
4	(Chapman et al., 2023)	Computers and Electronics in Agriculture	Q1	A deep learning model to forecast cattle heat stress.	Un modelo de aprendizaje profundo para pronosticar el estrés térmico de los bovinos.	Algoritmo de optimización genética (GA), algoritmo de aprendizaje profundo basado en redes LSTM.
5	(Dineva & Atanasova, 2023)	Animals	Q1	Health Status Classification for Cows Using Machine Learning and Data Management on AWS Cloud.	Clasificación del estado de salud de las vacas mediante aprendizaje automático y gestión de datos en AWS CloudDeep.	K-nearest neighbors (KNN), random forest (RF), y extreme boosting algorithm (XGBoost). También se emplearon técnicas como la regresión logística, Gaussian naïve Bayes, y random forest.

6	(Chaudhry et al., 2020)	HONET 2020 - IEEE 17th International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life using ICT, IoT and AI	-Q4	Internet of Things (IoT) and Machine Learning (ML) enabled Livestock Monitoring.	Monitoreo de ganado habilitado mediante Internet de las cosas (IoT) y aprendizaje automático (ML).	Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), y Redes Neuronales Artificiales (ANN).
7	(Fuentes et al., 2020)	Sensors (Switzerland)	Q2	Artificial intelligence applied to a robotic dairy farm to model milk productivity and quality based on cow data and daily environmental parameters.	Inteligencia artificial aplicada a una granja lechera robótica para modelar la productividad y calidad de la leche basándose en datos de las vacas y parámetros ambientales diarios.	Redes neuronales artificiales (ANN)
8	(Giannuzzi et al., 2022)	Scientific Reports	Q1	In-line near-infrared analysis of milk coupled with machine learning methods for the daily prediction of blood metabolic profile in dairy cattle.	Análisis en línea del infrarrojo cercano de la leche junto con métodos de aprendizaje automático para la predicción diaria del perfil metabólico sanguíneo en los bovinos lecheros.	Random Forest (RF), Gradient Boosting Machine (GBM), Multi-layer Feedforward Artificial Neural Network (ANN), y Elastic Net (EN), stacking ensemble y la red neuronal artificial (ANN).
9	(Darvesh et al., 2023)	Journal of Livestock Science	Q3	IOT and AI based smart cattle health monitoring.	Monitoreo inteligente de la salud de los bovinos basado en IoT e IA.	XGBoost y Random Forests
10	(Da Rodrigues, 2022)	Biblioteca digital	-Q4	Non-invasive assessment of heat stress in cattle: an approach based on machine learning and infrared thermography.	Evaluación no invasiva del estrés por calor en los bovinos: Enfoque basado en aprendizaje automático y termografía infrarrojo.	redes neuronales artificiales, máquina de vectores de soporte, árbol de decisión, k-vecinos más cercanos, bosque Aleatorio.

11	(Martono et al., 2023)	Lecture notes in computer science	Q2	Automated Cattle Behavior Classification Using Wearable Sensors and Machine Learning Approach	Clasificación automatizada del comportamiento de los bovinos mediante sensores portátiles y un enfoque de aprendizaje automático	Random Forest, Extreme Gradient Boosting, Decision Tree y Logistic Regression
12	(Gorczyca, 2019)	Digital Library	Q2	Machine Learning Applications For Monitoring Heat Stress In Livestock	Aplicaciones de aprendizaje automático para el seguimiento del estrés térmico en los bovinos	Modelo de regresión lineal generalizado con regularización elastic net (GLM) , Bosques aleatorios (Random Forests) , Máquinas de refuerzo de gradiente (Gradient Boosted Machines) , Redes neuronales profundas (Deep Neural Networks) con función de activación ReLU (DNN).
13	(El Moutaouakil & Falih, 2024)	Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science	Q3	A comparative study on time series data-based artificial intelligence approaches for classifying cattle feeding behavior	Estudio comparativo sobre enfoques de inteligencia artificial basados en datos de series temporales para clasificar el comportamiento alimentario de los bovinos	random forest, máquinas de vectores de soporte (SVM) y redes neuronales convolucionales (CNN).
14	(Riaboff et al., 2020)	Computers and Electronics in Agriculture	Q1	Development of a methodological framework for a robust prediction of the main behaviours of dairy cows using a combination of machine learning algorithms on accelerometer data	Desarrollo de un marco metodológico para una predicción robusta de los principales comportamientos de las vacas lecheras utilizando una combinación de algoritmos de aprendizaje automático sobre datos de acelerómetros	Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), Discriminant Analysis, Decision Tree, y eXtreme Gradient Boosting (XGB).

15	(Fuentes et al., 2022)	Journal of Agriculture and Food Research	Q1	Animal biometric assessment using non-invasive computer vision and machine learning are good predictors of dairy cows age and welfare: The future of automated veterinary support systems	La evaluación biométrica animal mediante visión artificial no invasiva y aprendizaje automático son buenos predictores de la edad y el bienestar de las vacas lecheras: el futuro de los sistemas automatizados de asistencia veterinaria	Redes neuronales artificiales (ANN)
16	(Zhou et al., 2022)	Animals	Q1	The Early Prediction of Common Disorders in Dairy Cows Monitored by Automatic Systems with Machine Learning Algorithms	Predicción temprana de trastornos comunes en vacas lecheras monitoreadas por sistemas automáticos con algoritmos de aprendizaje automático	Random Forest, KNN, Decision Tree, Naïve Bayes, Multilayer Perceptron, Logistic Regression, eXtreme Gradient Boosting, Linear Regression
17	(Liliana Fadul-Pacheco et al., 2021)	International Dairy Journal	Q2	Exploring machine learning algorithms for early prediction of clinical mastitis	Exploración de algoritmos de aprendizaje automático para la predicción temprana de la mastitis clínica	Bosque Aleatorio (RF) y el algoritmo de Gradient Boosting (EGB).
18	(Brouwers et al., 2023)	Smart Agricultural Technology	Q1	Towards a novel method for detecting atypical lying down and standing up behaviors in dairy cows using accelerometers and machine learning	Hacia un nuevo método para detectar comportamientos atípicos de acostarse y levantarse en vacas lecheras utilizando acelerómetros y aprendizaje automático	MiniRocket and the deep learning InceptionTime, máquinas de vectores de soporte (SVM), IVE-COTE 2.0, Knn, Dynamic Time Warping
19	(Zhang et al., 2023)	Computers and Electronics in Agriculture	Q1	Digital twin perception and modeling method for feeding behavior of dairy cows	Método de percepción y modelado de gemelos digitales para el comportamiento alimentario de las vacas lecheras	Máquinas de Vectores de Soporte (SVM), K-Vecino Más Cercano (KNN) y Memoria a Corto Plazo Largo (LSTM).

20	(Balasso et al., 2021)	Animals	Q1	Machine learning to detect posture and behavior in dairy cows: Information from an accelerometer on the animal's left flank	Aprendizaje automático para detectar postura y comportamiento en vacas lecheras: información de un acelerómetro en el flanco izquierdo del animal	Máquina de vectores de soporte (SVM), Bosque aleatorio (RF), K vecinos más cercanos (KNN) y Algoritmo de refuerzo extremo (XGB).
21	(Schmeling et al., 2021)	animals	Q1	Training and Validating a Machine Learning Model for the Sensor-Based Monitoring of Lying Behavior in Dairy Cows on Pasture and in the Barn	Entrenamiento y validación de un modelo de aprendizaje automático para el monitoreo basado en sensores del comportamiento acostado en vacas lecheras, en pastos y en el establo	Bosque aleatorio, Árboles de decisión, Máquina de Vectores de Soporte, Naive Bayes
22	(Pedrosa et al., 2024)	Journal of Dairy Science	Q1	Machine learning methods for genomic prediction of cow behavioral traits measured by automatic milking systems in North American Holstein cattle	Métodos de aprendizaje automático para la predicción genómica de rasgos de comportamiento de vacas medidos mediante sistemas de ordeño automático en ganado Holstein de América del Norte	Lazo bayesiano (LASSO), perceptrón de multicapa (MLP), red neuronal convolucional (CNN)
23	(Shorten, 2023)	Smart Agricultural Technology	Q1	Acoustic sensors for detecting cow behaviour	Sensores acústicos para detectar el comportamiento de las vacas.	Redes Neuronales Convolucionales (CNN) . Redes Neuronales de Memoria a Corto y Largo Plazo (LSTM) . Redes Neuronales de Memoria a Corto y Largo Plazo Bidireccionales (BiLSTM)
24	(Balasso et al., 2023)	Animals	Q1	Uncovering Patterns in Dairy Cow Behaviour: A Deep Learning Approach with Tri-Axial Accelerometer Data	Descubriendo patrones en el comportamiento de las vacas lecheras: un enfoque de aprendizaje profundo con datos de acelerómetro triaxial	red neuronal convolucional (CNN), bosque aleatorio (RF), K vecinos más cercanos (KNN), aumento de gradiente extremo (XGB) y máquina de vectores de soporte (SVM)

25	(Surana & Kumar Sharma, 2024)	International Journal of INTELLIGENT SYSTEMS AND APPLICATIONS IN ENGINEERING	Q4	Predicting Cow Health with a Smart Framework: A Big Data and Deep Learning-Based IoT Approach	Predecir la salud de las vacas con un marco inteligente: un enfoque de IoT basado en big data y aprendizaje profundo	bosques aleatorios y máquinas de vectores de soporte (SVM), Redes neuronales convolucionales (CNN) y memorias a largo plazo (LSTM)
26	(Veissier et al., 2022)	HAL open science	Q4	Machine Learning applied to behaviour monitoring to detect diseases, reproductive events and disturbances in dairy cows	Machine Learning aplicado al seguimiento del comportamiento para detectar enfermedades, eventos reproductivos y alteraciones en vacas lecheras	Bosque Aleatorio
27	(Sawada et al., 2023)	Lecture Notes in Networks and Systems	Q4	Efficient estimation of cow's location using machine learning based on sensor data	Estimación eficiente de la ubicación de las vacas mediante el aprendizaje automático basado en datos de sensores	LightGBM, regresión logística, máquina de vectores de soporte (SVM) y red neuronal
28	(Shu et al., 2023)	Computers and Electronics in Agriculture	Q1	Predicting physiological responses of dairy cows using comprehensive variables	Predecir respuestas fisiológicas de vacas lecheras utilizando variables integrales.	bosques aleatorios, máquinas de aumento de gradiente, redes neuronales artificiales (RNA) y regresión lineal
29	(Wagner et al., 2020)	Computers and Electronics in Agriculture	Q1	Machine learning to detect behavioural anomalies in dairy cows under subacute ruminal acidosis	Aprendizaje automático para detectar anomalías de comportamiento en vacas lecheras con acidosis ruminal subaguda	K Vecinos Más Cercanos para Regresión (KNNR), Árbol de decisión para la regresión (DTR); Perceptrón multicapa (MLP); Memoria a Largo Plazo y Corto Plazo (LSTM)

30	(Marques et al., 2024)	Animal	Q1	Machine Learning to Predict Pregnancy in Dairy Cows: An Approach Integrating Automated Activity Monitoring and On-Farm Data	Aprendizaje automático para predecir la preñez en vacas lecheras: un enfoque que integra el monitoreo automatizado de la actividad y los datos en la granja	regresión logística (RL), bosque aleatorio (RF), análisis discriminante lineal (LDA), máquinas de vectores de soporte con núcleo lineal (SVM), Bagged AdaBoost (ADABAG) y Bagged Classification Tree (TREEBAG).
31	(Tran et al., 2022)	IEEE Journal Sensors	Q1	An IoT-Based Design Using Accelerometers in Animal Behavior Recognition Systems	Un diseño basado en IoT que utiliza acelerómetros en sistemas de reconocimiento de comportamiento animal	Bosque aleatorio (RF)
32	(Nogoy et al., 2021)	Applied Sciences	Q3	Precision Detection of Real-Time Conditions of Dairy Cows Using an Advanced Artificial Intelligence Hub	Detección precisa de las condiciones en tiempo real de las vacas lecheras mediante un centro avanzado de inteligencia artificial	KNN
33	(Bovo et al., 2021)	Animals	Q1	Random Forest Modelling of Milk Yield of Dairy Cows under Heat Stress Conditions	Modelo de Bosque aleatorio para la producción de leche de vacas lecheras en condiciones de estrés térmico	Bosques Aleatorios
34	(Dang et al., 2024)	IEEE Access	Q1	Self-Powered Cattle Behavior Monitoring System Using 915 MHz Radio Frequency Energy Harvesting	Sistema de monitoreo del comportamiento de los bovinos autoalimentado que utiliza recolección de energía por radiofrecuencia de 915 MHz	CNN, Bi-LSTM, Perceptrón multicapa (MLP), Máquina de vectores de soporte (SVM)

35	(Higaki et al., 2021)	Journal of Reproduction and Development	of Q1	An attempt at estrus detection in cattle by continuous measurements of ventral tail base surface temperature with supervised machine learning	Un intento de detección de celo en los bovinos mediante mediciones continuas de la temperatura de la superficie de la base ventral de la cola con aprendizaje automático supervisado	bosque aleatorio, red neuronal artificial y máquina de vectores de soporte
36	(Hosseininoorbin et al., 2021)	Computers and Electronics Agriculture	and in Q1	Deep learning-based cattle behaviour classification using joint time-frequency data representation	Clasificación del comportamiento de los bovinos basada en el aprendizaje profundo mediante la representación conjunta de datos de tiempo y frecuencia	Red neuronal profunda
37	(Liseune et al., 2021)	Computers and Electronics Agriculture	and in Q1	Leveraging sequential information from multivariate behavioral sensor data to predict the moment of calving in dairy cattle using deep learning	Aprovechar la información secuencial de los datos de los sensores de comportamiento multivariados para predecir el momento del parto en los bovinos lechero mediante el aprendizaje profundo	regresión logística, bosque aleatorios, CNN, LSTM, C-LSTM (Híbrido entre CNN y LSTM)
38	(Miller et al., 2020)	Animal	Q1	Using animal-mounted sensor technology and machine learning to predict time-to-calving in beef and dairy cows	Uso de la tecnología de sensores montados en bovinos y el aprendizaje automático para predecir el tiempo hasta el parto en vacas de carne y leche	Bosques aleatorios

39	(Schmeling et al., 2021)	et	Repositório Univerdidad de Évora	-Q4	Evaluation of a sensor-based system for monitoring rumination in dairy cows with access to pasture	Evaluación de un sistema basado en sensores para el seguimiento de la rumia en vacas lecheras con acceso a pasto	bosques aleatorios, árbol de decisión, Máquina de Vectores de Soporte y Naïve Bayes
40	(Woodward et al., 2024)	et	Journal of Dairy Science	Q1	Identifying and predicting heat stress events for grazing dairy cows using rumen temperature boluses	Identificación y predicción de episodios de estrés térmico en vacas lecheras en pastoreo mediante bolos de temperatura del rumen	Regresión lineal simple Regresión lineal múltiple Modelos aditivos generalizados (gam) Bosques aleatorios (rf) Máquinas de aumento de gradiente (gbm) Cubist
41	(Magana et al., 2023)	et	Frontiers Veterinary Science	in Q1	Machine learning approaches to predict and detect early-onset of digital dermatitis in dairy cows using sensor data	Enfoques de Aprendizaje Automático para Predecir y Detectar el Inicio Temprano de la Dermatitis Digital en Vacas Lecheras Utilizando Datos de Sensores.	Bosque aleatorio y un algoritmo de k-vecinos más cercanos
42	(Vidal et al., 2023b)	et	Preventive Veterinary Medicine	Q1	Impact of sensor data pre-processing strategies and selection of machine learning algorithm on the prediction of metritis events in dairy cattle	Impacto de las estrategias de preprocesamiento de datos de sensores y selección de algoritmos de aprendizaje automático en la predicción de eventos de metritis en ganado lechero	k-NN (k-Nearest Neighbors), SVM (Support Vector Machine) y RF (Random Forest).

43	(Stygar et al., 2023)	Animal The international journal of animal biosciences	Q1	Measuring dairy cow welfare with real-time sensor-based data and farm records: a concept study	Medición del bienestar de las vacas lecheras con datos y granjas basados en sensores en tiempo real registros: un estudio conceptual	Algoritmo de clasificación multiclase XGBoost
44	(Ding et al., 2022)	agriculture	Q1	Predicting the Feed Intake of Cattle Based on Jaw Movement Using a Triaxial Accelerometer	Predicción de la ingesta de alimento de los bovinos basada en el movimiento de la mandíbula utilizando un acelerómetro triaxial	Extreme gradient boosting (XGB) Viterbi algorithm Linear regression (LR) Decision tree regressor (DTR) Gradient boosting regressor (GBR) Multilayer perceptron regressor (MLPR) AdaBoost regressor (ABR) Extra trees regressor (ETR) Linear support vector regressor (LSVR) Nu support vector regressor (NuSVR) Support vector regressor (SVR) Random Forest regressor (RFR) L2 regularized linear regression (Ridge)
45	(Watanabe et al., 2021)	Animals	Q1	Strategy to Predict High and Low Frequency Behaviors Using Triaxial Accelerometers in Grazing of Beef Cattle	Estrategia para predecir comportamientos de alta y baja frecuencia utilizando acelerómetros triaxiales en el pastoreo de ganado vacuno	Random Support Vector Machine Naïve Bayes Classifier Forest (SVM)

46	(Carslake et al., 2021)	Sensors	Q2	Machine Learning Algorithms to Classify and Quantify Multiple Behaviours in Dairy Calves Using a Sensor: Moving beyond Classification in Precision Livestock	Algoritmos de Aprendizaje Automático para Clasificar y Cuantificar Múltiples Comportamientos en Terneros Lecheros Utilizando un Sensor: Avanzando más allá de la Clasificación en Ganadería de Precisión	Se implementó un algoritmo de aprendizaje de conjunto AdaBoost para la clasificación, y un método de conteo ajustado (AC) con umbral de selección máximo para la cuantificación. Además, se utilizó un algoritmo de corrección (AC) para equilibrar los datos y abordar posibles cambios en el rendimiento debido a "concept drift".
47	(Ghafoor & Sitkowska, 2021)	AgriEngineering	Q2	MasPA: A Machine Learning Application to Predict Risk of Mastitis in Cattle from AMS Sensor Data	MasPA: Una aplicación de aprendizaje automático para predecir el riesgo de mastitis en ganado a partir de datos de sensores AMS	Se utilizaron 26 algoritmos de clasificación que incluyen RandomForestClassifier, XGBClassifier, LGBMClassifier, BaggingClassifier, DecisionTreeClassifier, ExtraTreeClassifier, KNeighborsClassifier, AdaBoostClassifier, LabelPropagation, LabelSpreading, SupportVectorClassifier, QuadraticDiscriminantAnalysis, NuSupportVectorClassifier, SGDClassifier, RidgeClassifier, LinearDiscriminantAnalysis, RidgeClassifierCV, CalibratedClassifierCV, LinearSVC, LogisticRegression, Perceptron, PassiveAggressiveClassifier, GaussianNB, BernoulliNB, NearestCentroid, y DummyClassifier.
48	(Hernández et al., 2024)	Sensors	Q2	Machine Learning-Based Prediction of Cattle Activity Using Sensor-Based Data	Predicción de la Actividad de los bovinos Basada en Aprendizaje Automático Utilizando Datos Basados en Sensores	Baseline, regresión logística, regresión de vectores de soporte, árboles de decisión, bosque aleatorio, aumento de gradiente y árboles extremadamente aleatorios

49	(Li et al., 2022)	Animals	Q1	Classification and Analysis of Multiple Cattle Behaviors and Movements Based on Machine Learning Methods	Clasificación y Análisis de Múltiples Comportamientos y Movimientos Unitarios de Ganado Basados en Métodos de Aprendizaje Automático	Se utilizaron tres algoritmos de aprendizaje automático para clasificar el comportamiento unitario de los bovinos vacuno: K-nearest neighbors (KNN), Random Forest (RF) y Extreme Gradient Boosting (XGBoost).
50	(Tian et al., 2021)	Computers and Electronics in Agriculture	Q1	Real-Time Behavioral Recognition in Dairy Cows Based on Geomagnetism and Acceleration Information	Reconocimiento en tiempo real del comportamiento en vacas lecheras basado en geomagnetismo e información de aceleración	Los algoritmos utilizados en la investigación fueron el algoritmo KNN (K-Nearest Neighbors) y el algoritmo RF (Random Forest) para el análisis y clasificación de los datos de comportamiento de las vacas en la granja.
51	(Vidal et al., 2023)	Frontiers in Animal Science	Q2	Comparative performance analysis of three machine learning algorithms applied to sensor data registered by a leg-attached accelerometer to predict metritis events in dairy cattle.	Análisis comparativo del rendimiento de tres algoritmos de aprendizaje automático aplicados a datos de sensores registrados por un acelerómetro adjunto a la pata para predecir eventos de metritis en ganado lechero	k-Nearest Neighbors (k-NN), Random Forest (RF) y Support Vector Machine (SVM)
52	(Cantor et al., 2022)	Frontiers in Animal Science	Q2	Using Machine Learning and Behavioral Patterns Observed by Automated Feeders and Accelerometers for the Early Indication of Clinical Bovine Respiratory Disease Status in Preweaned Dairy Calves.	Utilizando Aprendizaje Automático y Patrones de Comportamiento Observados por Alimentadores Automatizados y Acelerómetros para la Indicación Temprana del Estado de Enfermedad Respiratoria Bovina Clínica en Terneros Lactantes Predestetados.	Se utilizó el algoritmo de vecinos más cercanos (KNN) como técnica de aprendizaje automático principal en el estudio. Otros algoritmos probados incluyeron máquinas de vectores de soporte, bosques aleatorios y redes neuronales,

Fuente. Extraído de (Lascano, Balarezo, et al., 2024)

Por otra parte, con base en la revisión antes mencionada, se han extraído los algoritmos más factibles en cada uno de los artículos, tomando en consideración aspectos como el desempeño que ha sido evidenciado en cada uno de los estudios. Esta selección está basada en la capacidad de los algoritmos de ML para alcanzar altos niveles al momento de realizar la evaluación correspondiente, como es la sensibilidad, precisión, y otras métricas clave.

Con base en la revisión literaria exhaustiva, se ha logrado evidenciar que el algoritmo Random Forest (RF) o árboles aleatorios es el algoritmo más factible para estudios que ameritan una alta precisión, sensibilidad en la clasificación y predicción de diversos datos. Este descubrimiento es muy importante en el desarrollo de múltiples estudios en los cual RF ha demostrado un desempeño superior ante otros algoritmos de ML con una base sólida en los porcentajes de evaluación. A continuación, se presenta un gráfico estadístico, el mismo que permite la visualización de los algoritmos más eficientes con base en la revisión.

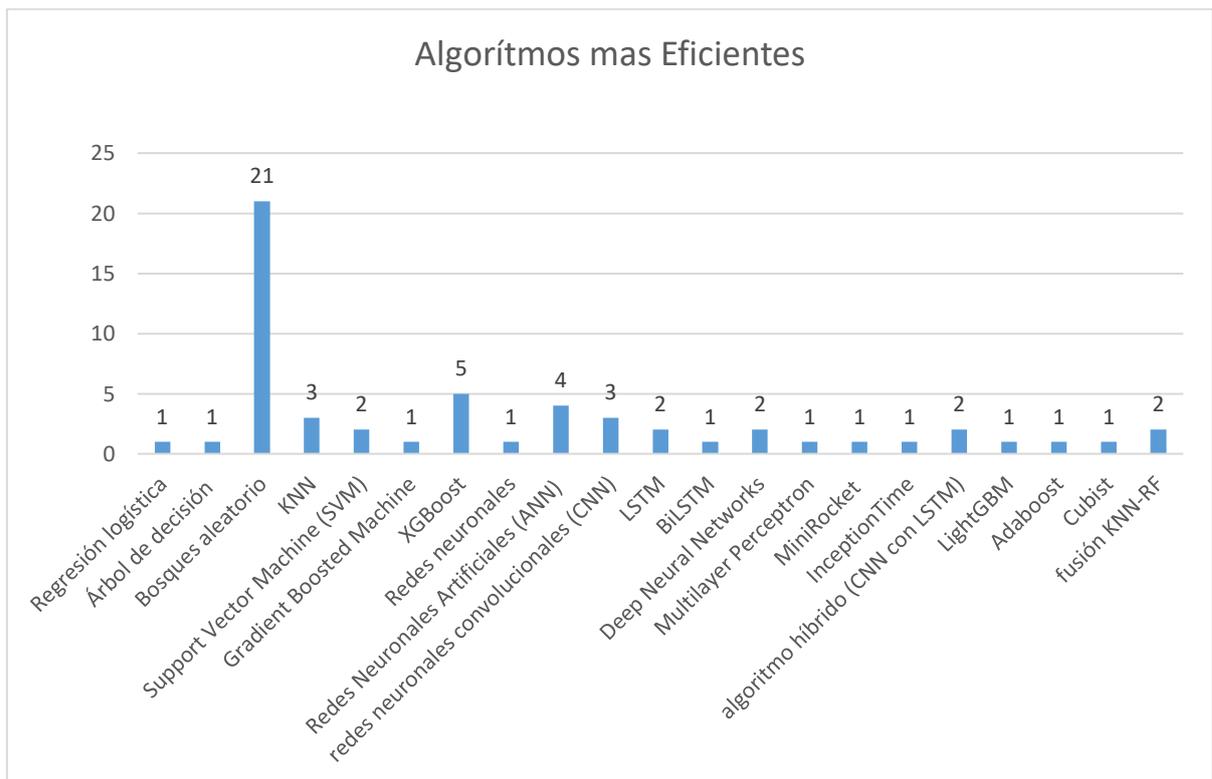


Figura 3. Algoritmo de ML más eficiente

2.2.12. Estrés bovino

El estrés en bovinos se refiere a una respuesta fisiológica y comportamental que experimentan cuando se enfrentan a situaciones que perciben como amenazantes o desafiantes para su bienestar. Es una reacción natural del sistema nervioso y endocrino de los bovinos ante ciertos estímulos estresantes en su entorno.

Según Alux Nutrition (2021), como se citó en Odeón & Romera (2017), mencionan que, según términos académicos, el estrés se define como la respuesta biológica que se produce cuando un individuo percibe una amenaza a su equilibrio interno, conocido como homeostasis. Walter Cannon acuñó este término para describir un estado estable de parámetros fisiológicos que se mantiene dentro de límites tolerables mediante diversos mecanismos. Este proceso se desarrolla en tres etapas consecutivas:

- **Fase de alarma simpática (breve y fugaz):** En esta etapa, el organismo detecta una amenaza o un estresor y se prepara para enfrentarla. Durante esta fase, se produce una respuesta de "lucha o huida".
- **Fase de resistencia (prolongada, estrés):** En esta etapa, el cuerpo intenta adaptarse a las demandas del estrés continuo. Los niveles de hormonas como el cortisol pueden permanecer elevados durante más tiempo. El organismo continúa lidiando con la amenaza, pero sus recursos se agotan gradualmente.
- **Fase de agotamiento (pérdida de la adaptación y ruptura del estado de salud, conocida como distrés):** los bovinos pueden experimentar problemas de salud más graves, como enfermedades, trastornos del comportamiento y una reducción significativa en su bienestar general.

Los factores o estímulos que perturban la homeostasis se llaman agentes estresantes o estresores. Estos pueden categorizarse en tres grupos según su naturaleza, duración e intensidad. En función de la duración de la respuesta que generan, se dividen en agudos (simples y de corta duración) y crónicos (de larga duración).

- **Causas del estrés en bovinos:**
 - Ambientales: Factores como el clima extremo, las condiciones de alojamiento inadecuadas, el ruido y la exposición a depredadores pueden causar estrés en los bovinos (PALMA, 2023).
 - Nutrición: Dietas desequilibradas o cambios bruscos en la alimentación pueden causar estrés metabólico en los bovinos.

- Manejo: Prácticas de manejo inadecuadas, como el transporte, el destete, la separación de terneros y vacas, y los procedimientos médicos invasivos, pueden causar estrés en los bovinos (PALMA, 2023).
- Social: La jerarquía social en el grupo puede ser una fuente de estrés, especialmente cuando se introducen nuevos bovinos en un rebaño.
- **Manifestaciones del estrés en bovinos:**
 - Comportamentales: Los bovinos estresados pueden mostrar agitación, inquietud, vocalizaciones excesivas, lamido excesivo o comportamiento de escape.
 - Fisiológicas: El estrés puede manifestarse a través de cambios en la frecuencia cardíaca, la respiración y la temperatura corporal, así como una disminución en la ingesta de alimentos.
 - Inmunosupresión: El estrés prolongado puede debilitar el sistema inmunológico de los bovinos, haciéndolos más susceptibles a enfermedades.

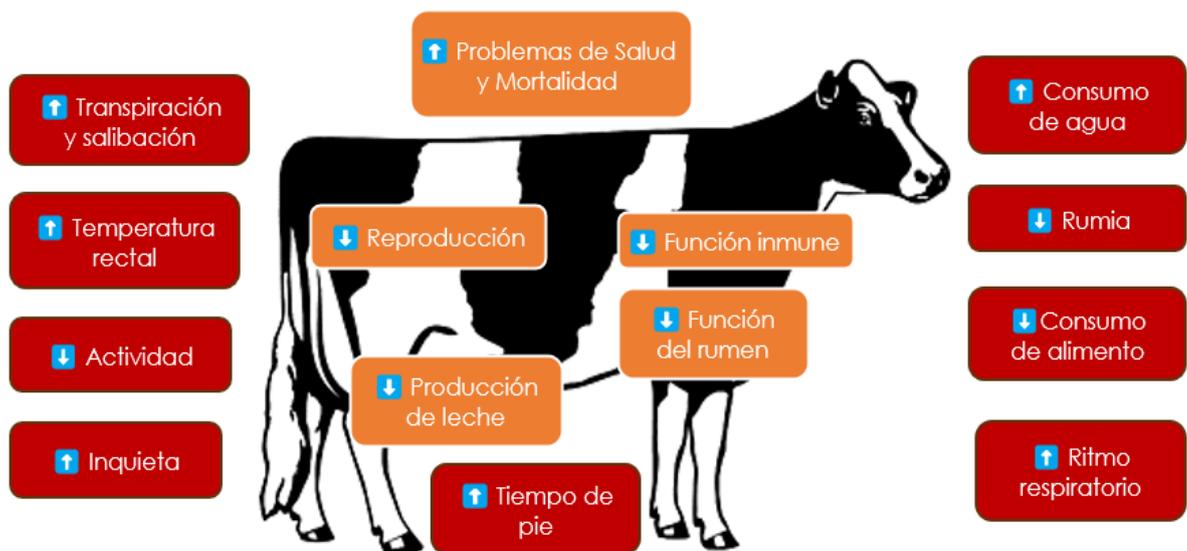


Figura 4. Signos visibles y consecuencias del estrés
Fuente. Adaptado de (Toledo & Dahl, 2022)

2.2.13. Constantes fisiológicas en bovinos

Las constantes fisiológicas son indicadores que permiten evaluar el estado de salud de un animal mediante sus funciones vitales, cuando una de estas constantes está fuera de los valores normales, puede ser un signo de que algo dentro del animal no se encuentra bien (CONtexto, 2023). Entre las constantes más importantes de los bovinos están las siguientes:

- Temperatura corporal: Se mide mediante un termómetro veterinario, vía rectal. La temperatura promedio es de 38,5 °C, oscilando entre 38,2 y 39,5 °C, según el clima y las condiciones ambientales.
- Frecuencia cardíaca: Se mide mediante la palpación del pulso en la arteria femoral. La frecuencia cardíaca promedio es de 60 a 80 latidos por minuto en bovinos adultos.
- Frecuencia respiratoria: Se mide mediante la observación del movimiento del tórax. La frecuencia respiratoria promedio es de 15 a 20 respiraciones por minuto en bovinos adultos.
- Movimientos rumiales: Se mide mediante la palpación del abdomen. La frecuencia ruminal promedio es 3 contracciones en 2 minutos en bovinos adultos, en cuanto al tiempo de rumia, deben pasar 8 horas o 480 minutos al día.

2.2.14. Tipos de estrés en bovinos

El estrés es una respuesta fisiológica de los seres vivos, en el contexto de los bovinos estas acciones son desencadenadas a causa de diferentes factores, los mismos que son clasificados de acuerdo con el tipo de estrés, clasificaciones, así como las causas que originan o inician síntomas que padecen los animales, ocasionando consecuencias tanto en el animal como para los agroganaderos encargados de su crianza y cuidado (CONtexto Ganadero, 2023).

Tabla 3. Tipos de estrés presentes en bovinos

Tipo	Causa	Síntomas	Consecuencias
Estrés calórico	<ul style="list-style-type: none"> • Las temperaturas extremas son altas o bajas. • Tiempo de exposición al sol • Falta de refugios con sombra. • Humedad ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la ingesta de alimento y el tiempo de rumia. • Aumento del consumo de agua. • Aumento de la temperatura interna y la frecuencia respiratoria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de producción de leche • Baja fertilidad
Estrés hídrico	<ul style="list-style-type: none"> • El excedente de humedad causa malestar en los animales. • El barro a causa de lluvias dificulta la movilidad. • La presencia de paracitos. • Falta de descanso debido a que no 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la actividad inquietante en los animales. • La temperatura disminuye, por lo que el animal siente frío. • Mayor presencia de parásitos. • Infecciones en los cascos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se produce fatiga y agresividad constante. • La actividad en el bovino disminuye a causa de las bajas temperaturas. • Enfermedades por bacterias • Cojeras severas

	pueden acostar a descansar o sentarse.		
Estrés nutricional	<ul style="list-style-type: none"> Falta de alimentos Escasez de nutrientes en la comida diaria 	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de calor. El cuerpo lúteo del útero es menos pesado. Problemas gastrointestinales Pérdida del pelaje o brillo Cambio en el comportamiento alimenticio. 	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de peso Perdida de la calidad de leche Baja fertilidad Mayor presencia de enfermedades. Dificultad de recuperar la condición corporal
Estrés de manejo	<ul style="list-style-type: none"> Cambio constante de personal o granjeros a cargo de los bovinos. Tratos bruscos Corrales Separación de la manada. Transporte Movilización excesiva 	<ul style="list-style-type: none"> Nerviosismo e inquietos Mugidos frecuentes Aumento en la respiración y frecuencia cardíaca Presencia de sudor Los bovinos babea o salivan de manera excesiva. 	<ul style="list-style-type: none"> Agresividad hacia los cuidadores o ganaderos. Resistencia al manejo. Pérdida de peso Lesiones Baja reacción inmunitaria.

Fuente: Tomado de (CONtexto Ganadero, 2023)

Se debe tomar en cuenta que el estrés en bovinos es un fenómeno subjetivo, ya que los factores estresantes se mantienen en constante cambio y se pueden abordar de diversas maneras, así como diferentes niveles de intensidad dependiendo de los factores estresores. Para tener una mejor comprensión sobre el estrés en los bovinos, se debe tener muy claro que cada ser vivo percibe las cosas o se encuentra en un medio ambiente diferente al de otro, permitiendo experimentar situaciones de manera individual y única. Los factores estresantes varían de acuerdo con la personalidad del individuo, su historia y experiencias.

2.2.15. Índices de estrés

Los dos índices de estrés más comunes en bovinos son el ITH y Wind Chill, los mismos que están orientados uno para el verano y otro para el frío respectivamente.

- **Índice de temperatura humedad (ITH):** fue adaptado por Berry en 1964 para ser utilizado en bovinos, el ITH es una métrica que se utiliza para determinar si las condiciones medioambientales son estresantes para los bovinos, los parámetros que se consideran son temperatura del aire, entre ellas la humedad relativa que permite estimar en nivel de estrés, tomando en cuenta que todo depende del

tiempo que se encuentra expuesto y la frecuencia variando según sea para bovinos de carne o lecheros (Arias et al., 2020).

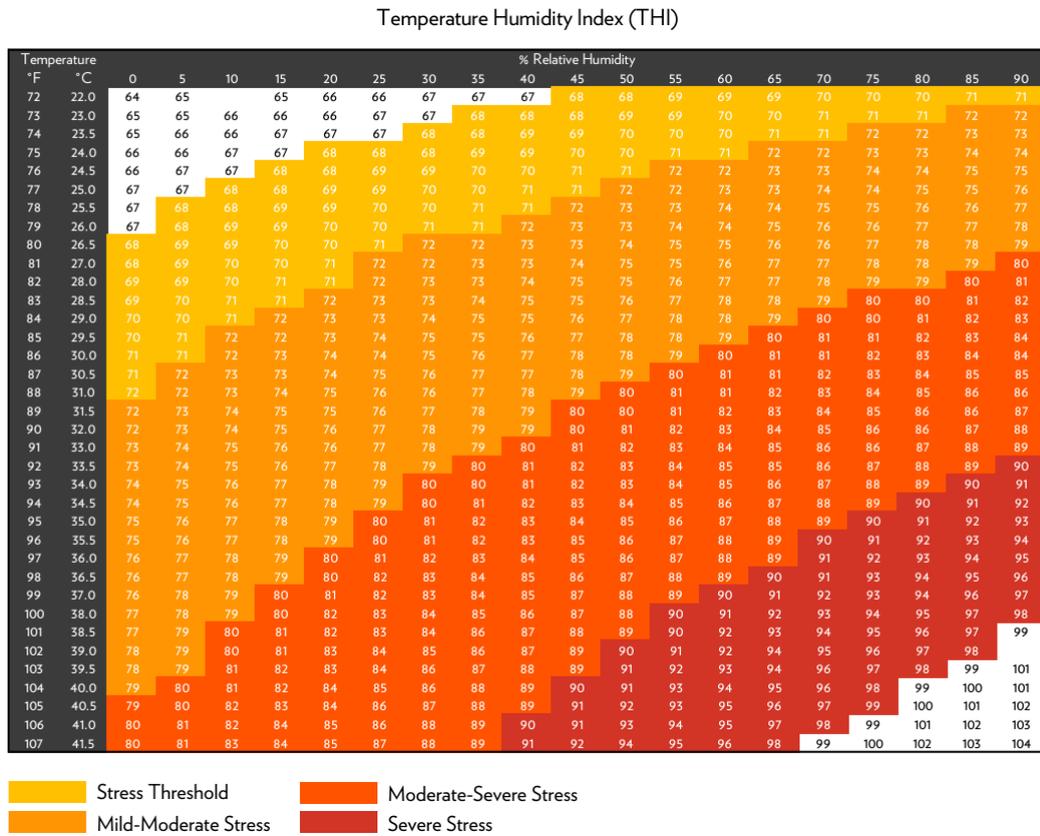


Figura 5. Índice de temperatura humedad (ITH)
Fuente. Extraído de (Jefo Nutrition Inc., 2021)

- **Sensación térmica por frío (Wind Chill):** también conocido como el índice de enfriamiento por viento enfocado directamente a los climas fríos, que indica la temperatura que percibe el cuerpo al mantenerse expuesto al frío y el viento (GIBBENS, 2024). Se debe tener en cuenta que esta sensación térmica en bovinos se refiere a lo que percibe el animal. Una exposición extensa a bajas temperaturas puede afectar negativamente en la salud, bienestar y productividad.

Wind (mph)	Temperature (°F)																		
	40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	
5	36	31	25	19	13	7	1	-5	-11	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-58	-63	
10	34	27	21	15	11	3	-4	-10	-16	-22	-28	-35	-41	-47	-53	-59	-66	-72	
15	32	25	19	13	6	0	-7	-13	-19	-26	-32	-39	-45	-51	-58	-64	-71	-77	
20	30	24	17	11	4	-2	-9	-15	-22	-29	-35	-42	-48	-55	-61	-68	-74	-81	
25	29	23	16	9	3	-4	-11	-17	-24	-31	-38	-44	-51	-58	-64	-71	-78	-84	
30	28	22	15	8	1	-5	-12	-19	-26	-33	-39	-46	-53	-60	-67	-73	-80	-87	
35	28	21	14	7	0	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-55	-62	-69	-76	-83	-89	
40	27	20	13	6	-1	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78	-84	-91	
45	26	19	12	5	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79	-86	-93	
50	26	19	12	4	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81	-88	-95	
55	25	18	11	4	-3	-11	-18	-25	-32	-39	-46	-52	-60	-67	-74	-81	-88	-95	
60	25	17	10	3	-4	-11	-19	-26	-33	-40	-48	-55	-62	-69	-76	-84	-91	-98	
Frostbite times	None	>2 hours					≤30 minutes			≤10 minutes			≤5 minutes						

Figura 6. Sensación térmica en frío (Wind Chill)
Fuente. Extraído de (NOAA, 2024).

2.2.16. Ciclo circadiano

Se comprende como un fenómeno biológico que permite la regularización de los ritmos fisiológicos y de comportamiento en un periodo de 24 horas. A nivel interno, este ciclo ayuda a mantener la sincronización de procesos corporales; en el caso de los animales, permite el control de sueño, la actividad, alimentación, producción de hormonas y temperatura corporal conforme se cambia el ciclo de día y noche.

Identificar alteraciones en el ritmo circadiano podría servir para detectar casos de estrés o enfermedad y, a su vez, incitar a los cuidadores de bovinos a abordar tales problemas, determinar sus causas y tomar medidas correctivas (Wagner et al., 2021).

2.2.17. Monitoreo y control animal

En monitoreo y control animal es muy importante en la gestión y bienestar animal de diversas especies, es por ello que la capacidad de seguir de cerca el comportamiento de los bovinos, así como su ubicación y la salud misma de estos, proporciona datos importantes que pueden ser analizados, obteniendo así

información valiosa para garantizar su seguridad y mejorar la toma de decisiones en la parte administrativa, así como la producción en algunos casos (Leandro, 2023). Es por lo que surgen los collares de monitoreo animal como una herramienta esencial para la recopilación en tiempo real, estos dispositivos ofrecen la posibilidad de rastrear algunos parámetros, en este caso los Nedap CowControl permiten medir la distribución de las 24 horas de una vaca para determinar aspectos como detección de celo, ingesta, rumia, comportamiento de pie, tumbada o caminando (Nedap Livestock Management, n.d.). Estos dispositivos combinan un rango sin precedentes de características que permiten la monitorización y herramientas de manejo y gestión, a través de sensores inteligentes denominados "SMART TAGS" que se encuentran integrados con un poderoso software que permite a los múltiples usuarios acceder a la información relevante, en tiempo real y de cualquier lugar o dispositivo inteligente.



Figura 7. Nedap CowControl™
Fuente. Extraído de (Nedap Livestock Management, n.d.)

2.2.18. Ganadería de precisión

La ganadería de precisión (Gdp) es un nuevo sistema sostenible para producir alimento de origen animal con la ayuda de las tecnologías de la información y comunicación. La ganadería de precisión busca combinar las ciencias bovinas con las ciencias de las tecnologías, con el objetivo de volver los sistemas sostenibles y más eficientes (García, 2020).

La ganadería de precisión ha revolucionado la forma en que se gestiona y opera en las explotaciones ganaderas. Sus principales aplicaciones abarcan desde el monitoreo en tiempo real de la salud y el comportamiento de los bovinos hasta la optimización de la nutrición y la gestión de recursos. Con el uso de dispositivos avanzados, como sensores, GPS, y sistemas de información geográfica, los ganaderos pueden recopilar datos precisos sobre la ubicación, el estado de salud, la alimentación y otros parámetros clave de sus animales. Estos datos se utilizan para tomar decisiones informadas que mejoran la productividad, la sostenibilidad y el bienestar animal, marcando así un nuevo horizonte en la ganadería moderna.

Por ejemplo, en lo que respecta a la nutrición, ciertos dispositivos registran la temperatura y humedad en los pastizales, lo que ayuda a detectar el estrés calórico en los animales. Este factor impacta en su consumo de forraje y su capacidad para regular su temperatura corporal.

2.2.19. Bienestar animal

El bienestar animal es un concepto que engloba diferentes elementos a tomar en cuenta en cada uno de los animales, si se habla de bienestar animal se refiere a que su organismo se encuentre funcionando en perfectas condiciones lo que supone una alimentación sana y constante a los animales, por otra parte muy importante que también se destaca en el bienestar animal es la salud mental o emocional, en las que se debe excluir totalmente el dolor y el miedo crónico el cual se da principalmente por la mala interacción con los humanos, es decir maltrato por parte de los cuidadores o granjeros que se encuentran a cargo de cuidado y crianza de los animales, finalmente se puede decir que si el animal está sufriendo de alguno de los factores antes mencionados, este comenzara a presentar cambios en su comportamiento o conducta como respuestas de estrés o manifestar conductas anómalas (Manteca, 2021).

Según Pinillos & García (2022), en la ponencia sobre "La interconexión entre el Bienestar Animal, Humano y su medioambiente" que se encuentra en la página 13, menciona que el bienestar animal se encuentra estrechamente relacionado con el bienestar humano y el medio ambiente, permitiendo tener una mejor perspectiva de cuáles son los conflictos que existen entre el bienestar animal, medio ambiente y los humanos, siendo este una base fundamental para la ampliación del conocimiento

en diferentes áreas de estudio de la ciencia animal en todas sus facetas dentro de las que se incluye la sostenibilidad y la ganadería. Además, el bienestar se encuentra enfocado en cinco secciones específicas como la seguridad alimentaria y la salubridad, los científicos especializados en este campo contribuyen a identificar estudios de caso y mejorar las prácticas que les permitan aportar valor.

La etología es una ciencia que se encarga de la observación y descripción minuciosa de los comportamientos bovino en diferentes aspectos. Es reconocida por sus principales aportaciones de elementos científicos con gran importancia para la formación de profesionales veterinarios que se centran básicamente en la salud y producción de animales. Como se mencionó anteriormente, esta ciencia está ligada al bienestar animal, en donde se observa al individuo la manera en que interactúa con el medio que le rodea, lo que conlleva a otros temas de investigación como el estudio del comportamiento, que son causados por factores de enfermedad, lesiones, hambre, instalaciones, manejo por los humanos, transporte y movimiento de los animales. El manejo de procedimientos biométricos para el control en granjas y el manejo genético convencional provoca reacciones en los rebaños (BLASIO et al., 2022).

2.2.20. Psicobiología

La psicobiología es el área de estudio de la biología animal que se encarga del estudio de la conducta animal con base en las características biológicas y de interacción que tenga cada una de las especies, permitiendo reconocer cuáles son los estímulos que puedan alterar su entorno, así como su comportamiento de manera general. Es de esta manera que se determina la agresividad y la violencia que presentan los bovinos como un mecanismo de defensa ante diversas situaciones de peligro, lo que ocasiona la conducta violenta con la única finalidad de hacer daño al otro sin tomar en cuenta las consecuencias (Corporación Universidad de la Costa., 2020).

2.2.21. Ciencia animal – Zootecnia

Según (Botero Arango, 2020), indica que la Zootecnia es: una profesión basada en una formación científica, técnica y humanística que tiene como fin promover una mejor calidad de vida para el hombre mediante la conservación de la salud animal,

el incremento de las fuentes de alimento de origen animal, la protección del medio ambiente, la biodiversidad y el desarrollo de la industria pecuaria del país.

La zootecnia desempeña un papel esencial en el cuidado animal al abordar aspectos clave como la nutrición, la genética, el manejo, la salud y el bienestar de los bovinos domesticados. Su objetivo es asegurar que reciban el mejor cuidado posible en entornos ganaderos y de cría, al tiempo que se optimizan los resultados de producción.

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

- **Enfoque mixto**

El enfoque mixto es una metodología de investigación que combina tanto elementos cualitativos como cuantitativos. Se utiliza para obtener una comprensión profunda de un fenómeno estudiado, al tiempo que permite generalizar los resultados a una población más amplia mediante el uso de técnicas estadísticas (Ortega, 2023b).

- La investigación cuantitativa fue necesaria para recopilar y analizar datos numéricos sobre el nivel de estrés en bovinos. Se utilizarían técnicas estadísticas y análisis cuantitativos para examinar las relaciones entre variables y realizar inferencias basadas en los datos recopilados.
- La investigación cualitativa ayudo a complementar la investigación cuantitativa al proporcionar una comprensión más profunda de las experiencias y percepciones de los bovinos en situaciones de estrés. Se utilizó métodos como entrevistas, observación y análisis de contenido para explorar las dimensiones cualitativas del tema.

3.1.2. Tipo de Investigación

- **Investigación de campo:** este tipo de investigación se enfoca directamente con la observación que nos permite la verificación de los acontecimientos en tiempo real, refiriéndose al tiempo exacto en que ocurre el fenómeno que se estudia, permitiendo así el análisis y diagnóstico para que posteriormente brinde una solución al problema (Rhoton, 2024).

La investigación de campo permitirá observar e interactuar con los bovinos en su entorno natural, recopilar datos biométricos en tiempo real y validar técnicas de aprendizaje automático.

- **Investigación documental:** permite la investigación del entorno en el cual se encuentra el objetivo a investigar. Para ello es necesaria la revisión de libros, folletos, revistas, diarios, foros, redes sociales en internet, fotografías, lo cual no permite conocer de mejor manera el tema, logrando una visión más amplia de los factores que involucran a distintas variables de investigación que permiten la obtención y recolección de datos, además del análisis que permite alcanzar el objetivo planteado (Martínez, 2020).

La investigación documental puede identificar variables relevantes, limitaciones y oportunidades de investigación para las técnicas de aprendizaje automático para evaluar los niveles de estrés de los bovinos. Esta información se puede utilizar para desarrollar técnicas de aprendizaje automático más precisas y efectivas, diseñar algoritmos más robustos y confiables e identificar áreas que requieren más investigación.

- **Investigación exploratoria:** en este tipo de investigación tiene como finalidad hallar oportunidades potenciales dentro de la institución, analizando y recolectando información referente al tema de investigación para posteriormente dar una posible mejora que solucione convenientemente el problema de investigación (Enrique Rus, 2020).

La investigación exploratoria puede identificar posibles enfoques y técnicas, limitaciones y desafíos, oportunidades de investigación y nuevas hipótesis para evaluar los niveles de estrés de los bovinos utilizando técnicas de aprendizaje automático. Además de generar nuevas preguntas de investigación.

- **Investigación descriptiva:** este tipo de investigación se enfoca en la descripción de características de los datos a obtener, o que ya han sido obtenidos, permitiendo una visión directa del fenómeno que se desea comprobar, permitiendo la descripción de diversas implicaciones y por medio de estas se logra una simplificación de manera más sencilla de los datos que se han obtenido (Cimec, 2023).

La investigación descriptiva sería utilizada para recopilar y describir información sobre el nivel de estrés en bovinos, se recolectarían datos de campo y se registrarían diferentes variables relacionadas con el estrés en los bovinos. Una vez recopilados los datos, se realizaría un análisis descriptivo para organizar y resumir

la información obtenida. La investigación descriptiva permitiría obtener una imagen clara y detallada del nivel de estrés en los bovinos.

3.2. IDEA A DEFENDER

Las técnicas de aprendizaje automático se pueden utilizar para predecir la aparición de estrés en bovinos, lo que podría permitir una intervención temprana para prevenir consecuencias negativas.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1. Definición de las variables

El aprendizaje automático es un tipo de inteligencia artificial (IA) que permite que las aplicaciones de software sean más precisas en la predicción de resultados sin estar programadas explícitamente para hacerlo. Los algoritmos de aprendizaje automático utilizan datos históricos como entrada para predecir nuevos valores de salida.

Los bovinos estresados pueden experimentar una disminución en la producción de leche, así como problemas de salud. Los factores que pueden causar estrés en los bovinos incluyen el manejo inadecuado, las condiciones ambientales adversas y la interacción con otros animales.

3.3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 4. Variable independiente

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Técnica
Técnicas de aprendizaje automático	Capacidad de un algoritmo inteligente para aprender y hacer predicciones a partir de datos.	<ul style="list-style-type: none"> • Aprendizaje • Algoritmos • Entrenamiento • IDE plataforma • Variables de entrada 	<ul style="list-style-type: none"> • Curva de aprendizaje • Capacidad de procesamiento • Tiempo de entrenamiento • Tipo de datos • Tiempo de compilación 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevista • Análisis de datos • Lógica difusa

Tabla 5. Variable dependiente

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Técnica
Estrés en bovinos	Variación de ánimo y estado de salud vinculados a la eficiencia de los bovinos y factores que en estos inciden.	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento • Fisiológica • Genética • Manejo • Alimentación • Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad física • Temperatura • Frecuencia cardiaca • Temperatura ambiental. • Humedad. • Calidad • Cantidad datos ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • Entrevistas

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Métodos utilizados

- **Deductivo:** “La deducción es un proceso que parte de un principio general ya conocido para inferir de él consecuencias particulares” (Arrieta, 2021). En lo que respecta a esta investigación, se utilizaron teorías previamente existentes sobre el estrés bovino como el ciclo circadiano y los índices de estrés (ITH, wind chill). Respecto al aprendizaje de máquinas con el fin de proponer una idea a defender sobre si las técnicas de aprendizaje automático se pueden utilizar para predecir la aparición de estrés en bovinos. A partir de esto, se aplicaron los algoritmos predictivos utilizados en el área agropecuaria para probar su capacidad de predecir el estrés, esto demuestra cómo se pueden validar las teorías anteriores y ajustar los modelos según los resultados obtenidos.
- **Inductivo:** “Este método utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, para llegar a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general. El método se inicia con un estudio individual de los hechos y se formulan conclusiones universales que se postulan como leyes, principios o fundamentos de una teoría” (Arrieta, 2021). En esta investigación, el método inductivo se aplica al analizar los datos recolectados sobre las actividades de los bovinos en diferentes períodos del día (comida, rumia, descanso y otros). A través de la observación y análisis detallado de estos datos, se pudo identificar patrones y tendencias que permitieron establecer generalizaciones sobre el nivel de estrés en los bovinos. Esto es esencial para generar modelos predictivos basados en datos reales y específicos.
- **Comparativo:** “Permite establecer relaciones entre dos o más fenómenos o conjuntos de elementos para obtener razones válidas en la explicación de diferencias o semejanzas” (Ortega, 2023a). En este estudio, se comparan ocho algoritmos de aprendizaje automático: bosques aleatorios, k-vecinos más cercanos, máquinas de soporte vectorial, XGBoost, redes neuronales convolucionales, redes neuronales artificiales, LSTM y, las redes neuronales profundas. Los métodos se comparan a través de la utilización de métricas estándar como son la precisión, exactitud, recuperación, F1 y AUC. Este análisis

comparativo identifica los métodos más adecuados para predecir los niveles de estrés en bovinos.

3.4.2. Técnicas utilizadas

- **Entrevista semiestructurada:** Es una técnica de recolección de datos que combina preguntas predefinidas con preguntas abiertas, permitiendo obtener información detallada y flexible sobre un tema específico. En la presente, la entrevista semiestructurada puede aplicarse para recopilar información de expertos tanto del área computacional como ganadera, recolectando información sobre la relación entre el estrés y el rendimiento productivo de los animales, y cómo se podrían implementar los algoritmos de IA en la práctica (Dovetail Editorial Team, 2023).
- **Minería de datos (Data Mining):** Se utilizarán técnicas de minería de datos para explorar los conjuntos de datos en busca de información oculta y patrones no evidentes. Esto ayudará a descubrir características importantes y correlaciones relevantes para comprender mejor los factores que afectan el nivel de estrés en los bovinos (Ayala, 2020).
- **Big Data:** El Big Data se ha convertido en una técnica de investigación ampliamente utilizada en diversos campos. Se refiere al procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos que exceden las capacidades de las herramientas y enfoques tradicionales. Esta técnica permite extraer información valiosa, identificar patrones, tendencias y obtener conocimientos significativos a partir de conjuntos de datos masivos. Al aplicar el Big Data como técnica de investigación, los investigadores pueden explorar y analizar datos de diversas fuentes, como registros transaccionales, redes sociales, sensores, registros de actividad en línea, entre otros. Esta abundancia de datos proporciona una perspectiva más completa y detallada, permitiendo la identificación de relaciones complejas y el descubrimiento de ideas novedosas (Tiao et al., 2024).

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el presente informe se realizó el análisis del comportamiento de 10 vacas que se encuentran en el centro experimental San Francisco-Huaca de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, que fueron utilizadas para la recolección de datos sobre su actividad animal, como es la ingesta de comida, rumia y descanso.

Los bovinos monitoreados son identificados mediante su número de arete, nombre y código del collar de monitoreo, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 6. Población o muestra

N°	Número de arete	Nombre	Código del Collar
1	1	Cris	984000006503535
2	2	Mariana	984000006503548
3	3	Flor	984000006503569
4	4	Chela	984000006503533
5	468	Joya	984000006503534
6	479	Mishu	984000006503554
7	4003	Elyna	984000006503553
8	4151	Rosita	984000006503542
9	4160	Luisa	984000006503563
10	4173	Karol	984000006503549

Los bovinos han sido monitoreados durante seis meses, desde el 1 de enero del 2024 hasta el 30 de junio del 2024. Durante este periodo se han registrado de manera detallada tres actividades específicas (rumia, comida, descanso), obteniendo la suma de las actividades diarias que realiza la vaca. Estos datos se han recolectado diariamente, propiciando una visión integral de su comportamiento.

A continuación, se presenta una tabla con el promedio mensual de las actividades realizadas por vaca.

Tabla 7. Promedio mensual de actividades Vaca_1 "Cris"

Mes	Comida	Otros	Descanso	Rumia
Enero	09:28:28	00:39:21	06:28:50	07:23:24
Febrero	09:25:32	00:26:49	06:02:29	08:05:10
Marzo	08:46:02	00:25:48	07:26:38	07:21:30
Abril	09:18:31	00:19:37	06:31:54	49:58
Mayo	08:14:49	00:17:24	08:37:33	06:50:12
Junio	08:39:16	00:21:50	08:09:06	06:49:49

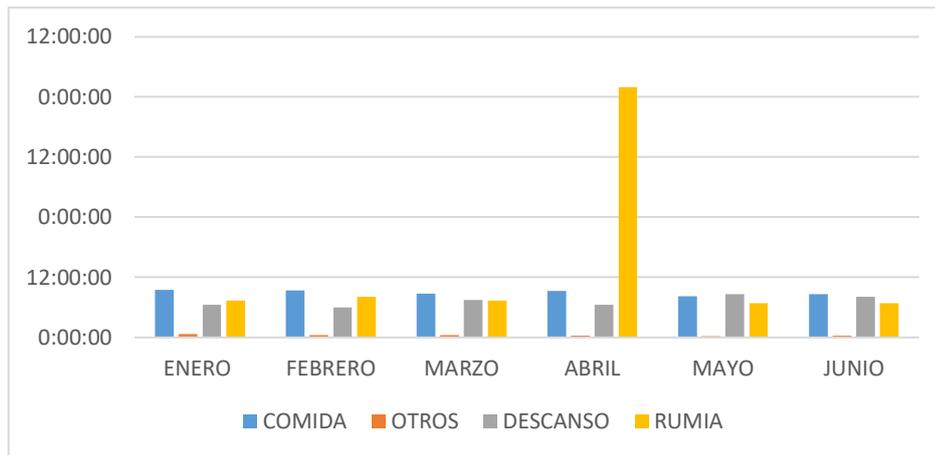


Figura 8. Promedio mensual de actividades Vaca_1 "Cris"

La vaca identificada con el nombre de Cris durante seis meses revela que el tiempo de alimentación (azul), así como el descanso (gris) son constantes, mientras que la actividad de otros (naranja) presenta variaciones mínimas. Sin embargo, la actividad de rumia (amarillo) tiene una variación significativa en el mes de abril, apuntando a que en ese mes ocurrió un evento excepcional o existieron algunas variantes en comportamiento del animal que modificaron su ciclo circadiano, mientras que los otros meses permanece sin variaciones considerables.

Tabla 8. Promedio mensual de actividades Vaca_2 "Mariana"

Mes	Comida	Otros	Descanso	Rumia
Enero	8:28:58	0:32:29	7:48:04	7:10:31
Febrero	6:56:14	0:54:44	9:15:39	6:53:24
Marzo	8:03:56	0:42:09	8:07:04	7:06:49
Abril	8:42:57	0:41:09	6:45:52	7:50:04
Mayo	8:51:59	0:37:21	6:36:37	7:54:04
Junio	8:02:14	0:47:23	7:23:47	7:46:35

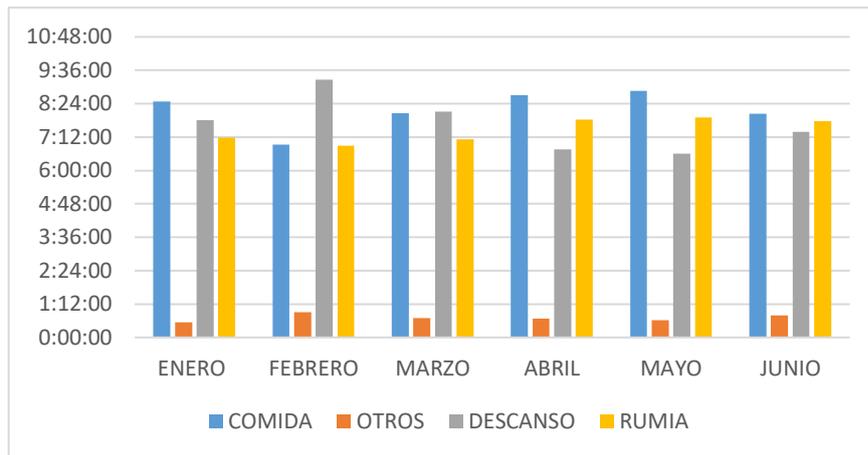


Figura 9. Promedio mensual de actividades Vaca_2 "Mariana"

La vaca identificada con el nombre de Mariana, en su promedio de actividades durante los seis meses de monitoreo muestra que el tiempo dedicado a comer es constante, en un periodo de 6 a 8 horas diarias. La actividad de otros se mantiene sin variaciones, siempre por debajo de una hora diaria. Por otra parte, la actividad de descanso varía, alcanzando en febrero un máximo de 10 horas diarias y en los demás meses se mantiene alrededor de 6 a 9 horas. Finalmente, la rumia muestra fluctuaciones notables en los meses de enero, marzo que tiene una actividad alta en un aproximado de 8 horas, posteriormente disminuye en febrero, abril y vuelve a tener un aumento en marzo y junio. Estas variaciones en el ciclo del animal sugieren cambios en la dieta o bien el manejo del bovino.

Tabla 9. Promedio mensual de actividades Vaca_3 "Flor"

Mes	Comida	Otros	Descanso	Rumia
Enero	06:35:34	02:01:39	07:34:25	07:48:21
Febrero	06:43:33	01:50:23	07:50:54	07:35:09
Marzo	06:50:31	01:33:44	08:01:16	07:34:26
Abril	06:47:45	01:28:09	08:40:15	07:03:49
Mayo	06:48:13	01:19:13	08:34:14	07:18:19
Junio	06:22:01	01:16:21	09:03:37	07:18:00.

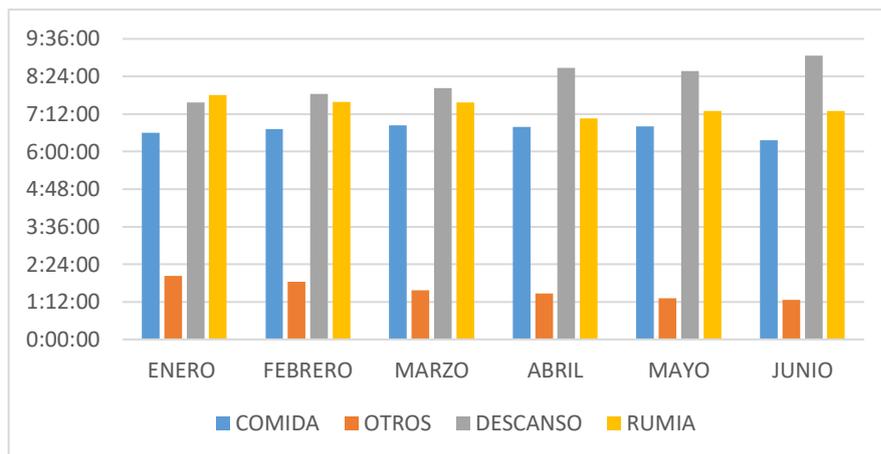


Figura 10. Promedio mensual de actividades Vaca_3 "Flor"

La vaca identificada con el nombre de Flor, durante el periodo de monitoreo de 6 meses, dedica de 5 a 7 horas diarias a la comida, manteniendo una actividad constante de rumia entre 6 y 8 horas diarias, teniendo picos en febrero y abril, mientras que otras se mantienen considerablemente bajas. Por ende, el registro de estas actividades sugiere que los periodos muestran un patrón estable en su ciclo.

Tabla 10. Promedio mensual de actividades Vaca_4 "Chela"

Mes	Comida	Otros	Descanso	Rumia
Enero	07:47:20	02:11:10	08:39:17	05:22:13
Febrero	07:46:28	02:22:26	09:21:15	05:29:55
Marzo	06:12:27	03:22:11	07:04:01	07:21:21
Abril	05:24:24	04:05:41	07:29:37	07:00:18
Mayo	04:26:14	04:23:58	08:39:54	06:29:55
Junio	04:24:18	03:49:44	08:50:32	06:55:27

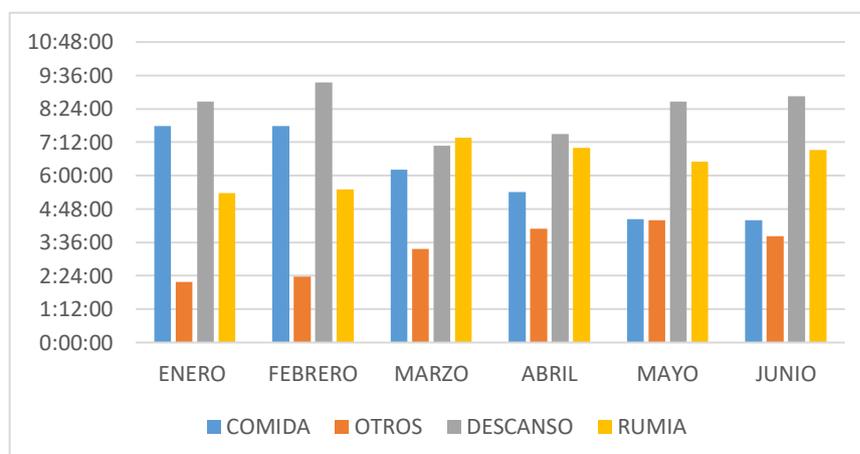


Figura 11. Promedio mensual de actividades Vaca_4 "Chela"

La vaca número 4 de nombre Chela, dentro de los 6 meses de monitoreo, los meses de febrero y abril a dedicado un promedio de 8 a 9 horas diarias a la actividad de descanso. En marzo, abril y junio tiene una actividad significativa en la rumia. La actividad de "otros" ha tenido un incremento mínimo en los meses de marzo, abril y mayo. En los meses de mayo y junio se detecta una disminución significativa en todas las actividades del ganado, lo que sugiere que existieron cambios estacionales en el comportamiento del bovino.

Tabla 11. Promedio mensual de actividades Vaca_468 "Joya"

Mes	Comida	Otros	Descanso	Rumia
Enero	08:17:13	00:25:35	08:03:49	07:13:24
Febrero	08:36:25	00:19:09	07:49:59	07:14:27
Marzo	08:08:26	00:37:27	08:01:48	07:12:20
Abril	07:47:14	00:14:58	09:00:37	06:57:11
Mayo	08:00:44	00:21:50	08:27:32	07:09:54
Junio	07:34:29	00:19:56	09:29:50	06:35:45

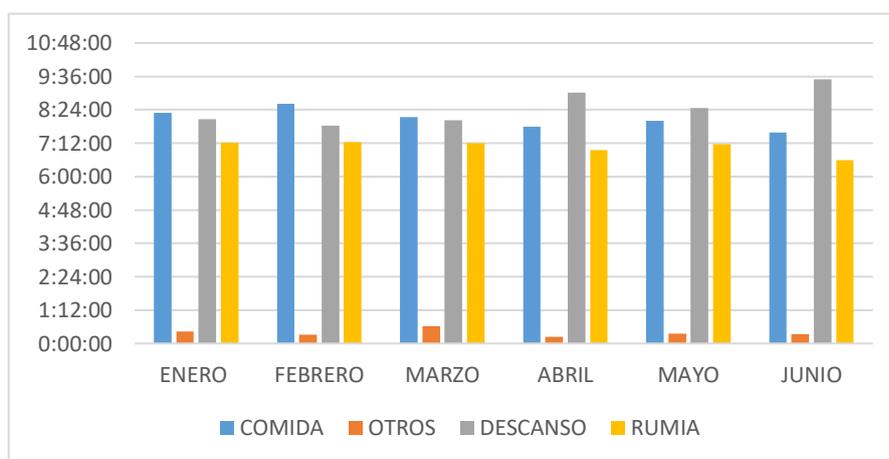


Figura 12. Promedio mensual de actividades Vaca_468 "Joya"

La Vaca 468 "Joya", a lo largo de los meses de monitoreo se observa que ha dedicado la mayor parte de su tiempo de descanso y rumia de una forma constante. La actividad de comer es bastante significativa, manteniéndose constante, teniendo un ligero incremento en los meses de febrero y abril. La actividad de "otros" ocupa la menor cantidad de tiempo en todos los meses. De manera particular, podemos destacar que Joya dedicó un tiempo considerable al descanso en los meses de abril y junio. Finalmente, podemos mencionar que la gráfica sugiere que este bovino

mantiene un comportamiento uniforme a lo largo de cada mes, con variaciones mínimas.

Tabla 12. Promedio mensual de actividades Vaca_479 "Mishu"

Mes	Comida	Otros	Descanso	Rumia
Enero	08:10:06	00:47:03	07:50:59	07:11:54
Febrero	08:02:36	00:54:51	07:32:19	07:30:12
Marzo	07:57:47	00:52:36	08:12:41	06:56:54
Abril	08:01:58	00:52:19	08:19:11	06:46:30
Mayo	06:52:04	00:55:49	09:51:36	06:20:31
Junio	07:37:42	00:38:12	08:52:00	06:52:05

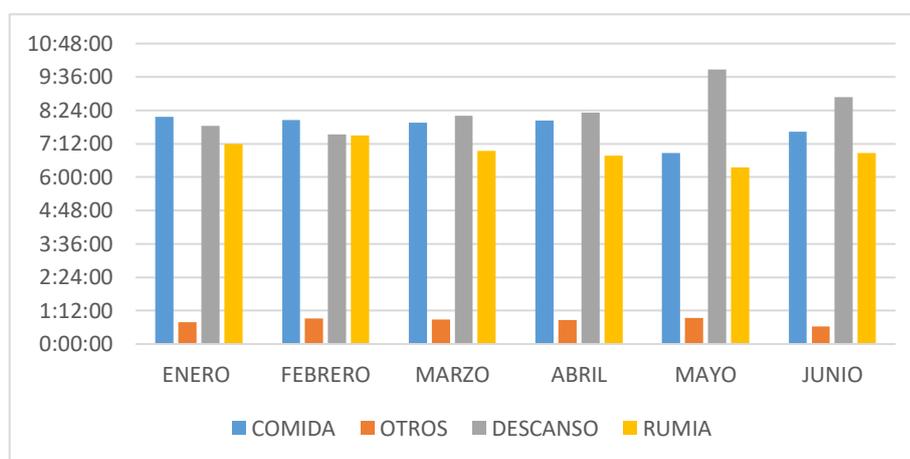
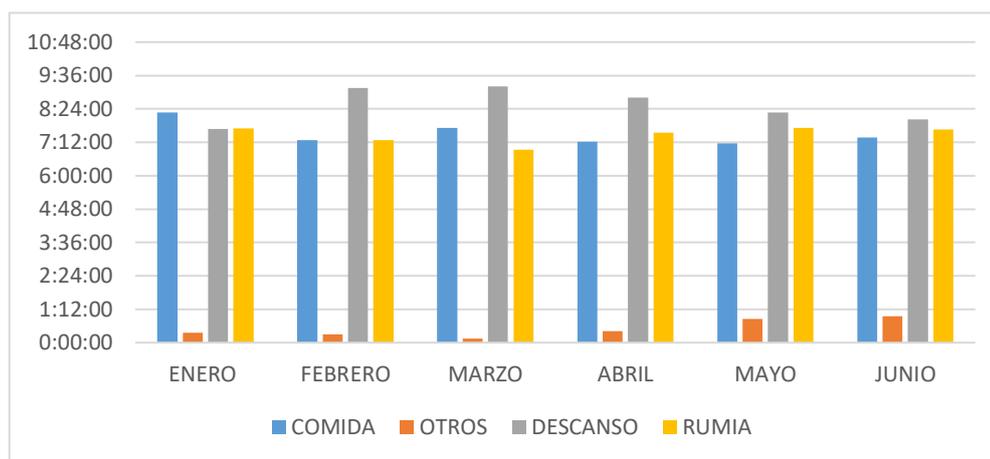


Figura 13. Promedio mensual de actividades Vaca_479 "Mishu"

La gráfica del promedio mensual de actividades de la vaca 479 "Mishu" indica que el tiempo dedicado a la actividad de comer se ha mantenido constante alrededor de 7 horas, mientras que la actividad de "otros" ocupa un mínimo y se ha mantenido constante durante el monitoreo. El descanso varió alcanzando un máximo en el mes de mayo con casi 10 horas y un mínimo en febrero con aproximadamente 7 horas diarias. Por otra parte, la actividad de la rumia se mantiene alrededor de 6 horas, con pequeñas variaciones en mayo y junio. Por tanto, la gráfica muestra que existe un comportamiento estable con variaciones entre el descanso y la comida.

Tabla 13. Promedio mensual de actividades Vaca_4003 "Elyna"

Mes	Comida	Otros	Descanso	Rumia
Enero	08:16:41	00:20:56	07:40:19	07:42:03
Febrero	07:16:42	00:18:03	09:08:30	07:16:45
Marzo	07:43:16	00:09:00	09:11:57	06:55:46
Abril	07:13:39	00:24:44	08:48:54	07:32:43
Mayo	07:10:15	00:50:50	08:16:00	07:42:54
Junio	07:22:11	00:57:19	08:01:11	07:39:20

**Figura 14.** Promedio mensual de actividades Vaca_4003 "Elyna"

En la gráfica se presenta el promedio de actividades mensuales que ha realizado la vaca 4003 "Elyna", la mayor parte de su tiempo ha pasado descansando y comiendo, particularmente en los meses de febrero y marzo, alcanzando un promedio de casi 8 y 9 horas diarias. En lo que respecta a la rumia, se ha mantenido constante, con pequeñas variaciones en el mes de enero, donde alcanza su pico máximo de 8 horas diarias. En la clasificación del periodo "otros" se mantiene invariable.

Tabla 14. Promedio mensual de actividades Vaca_4151 "Rosita"

Mes	Comida	Otros	Descanso	Rumia
Enero	09:13:30	00:25:19	07:37:34	06:43:36
Febrero	09:06:50	00:24:32	07:58:50	06:29:48
Marzo	09:03:19	00:34:04	07:52:18	06:30:21
Abril	08:38:45	00:54:28	08:06:14	06:20:33
Mayo	07:25:45	00:47:53	09:59:29	05:46:53
Junio	09:30:21	00:29:15	07:16:49	06:43:35

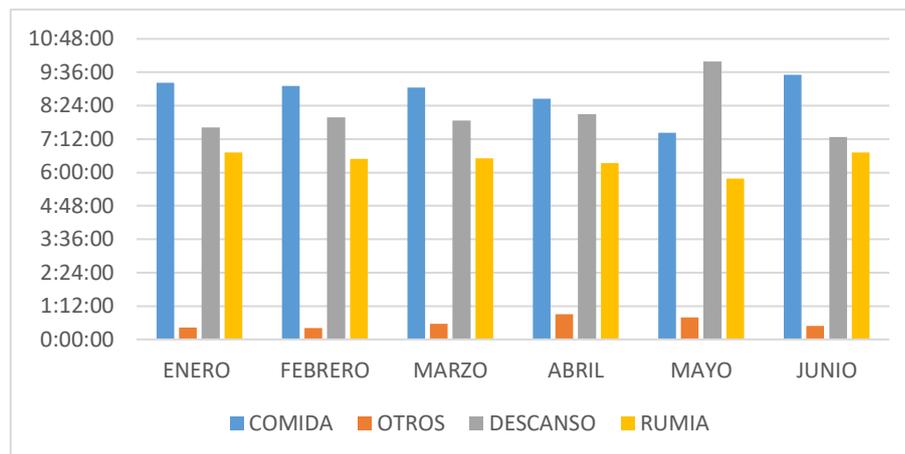


Figura 15. Promedio mensual de actividades Vaca_4151 "Rosita"

La gráfica muestra el monitoreo de actividades durante seis meses de la vaca 4151 "Rosita", indica que el tiempo de rumia ha sido constante en todos los meses, aunque ligeramente más bajo en enero y junio. Por el contrario, las actividades de descansar alcanzan su punto máximo en el mes de mayo en aproximadamente 9 horas diarias. En cambio, la actividad de comida se ha mantenido sin variaciones, con un promedio de 9 y 8 horas diarias. Finalmente, la actividad de "otros" se mantiene al mínimo comparado con las otras categorías, manteniendo su constante.

Tabla 15. Promedio mensual de actividades Vaca_4160 "Luisa"

Mes	Comida	Otros	Descanso	Rumia
Enero	07:41:45	02:10:19	07:38:50	06:29:06
Febrero	07:41:50	01:58:14	07:35:32	06:44:23
Marzo	07:48:11	01:36:14	08:27:21	06:08:09
Abril	07:34:15	01:21:38	09:06:47	05:57:21
Mayo	07:23:29	01:39:19	08:56:13	06:01:00
Junio	07:31:38	01:18:32	09:20:22	05:49:27

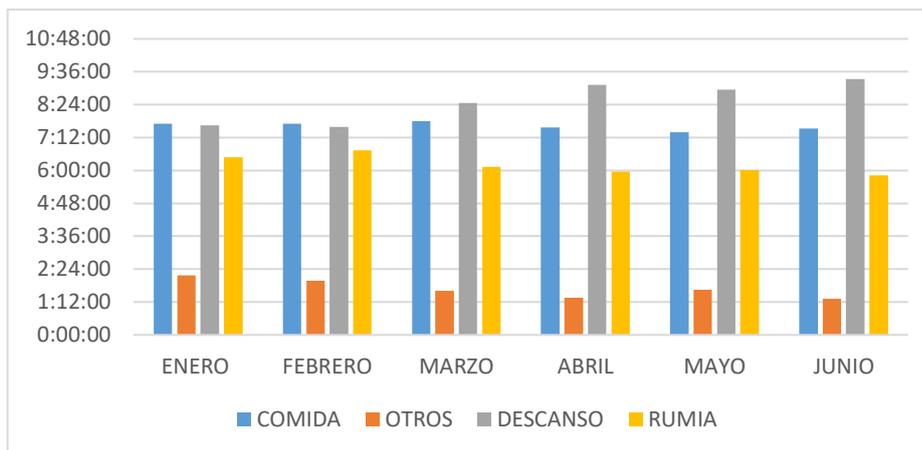


Figura 16. Promedio mensual de actividades Vaca_4160 "Luisa"

En el monitoreo de los bovinos durante seis meses, la vaca 4160 "Luisa" muestra que la mayor parte del tiempo ha sido dedicada a descansar y comer, con un promedio de 8 horas de descanso diario y unas 6 horas aproximadamente de comida. El tiempo de rumia es significativo, con un aproximado de 5 horas diarias manteniéndose invariable en cada mes. Por otra parte, la actividad de "otros" se mantiene en aproximadamente 1 hora diaria.

Tabla 16. Promedio mensual de actividades Vaca_4173 "Karol"

Mes	Comida	Otros	Descanso	Rumia
Enero	09:41:40	00:24:06	05:53:07	08:01:05
Febrero	09:48:39	00:17:28	05:50:13	08:03:40
Marzo	09:21:20	00:18:58	06:19:39	08:00:03
Abril	09:39:59	00:29:32	06:46:07	07:04:21
Mayo	09:01:46	00:14:59	07:29:15	07:14:02
Junio	09:46:35	00:07:57	06:24:42	07:40:46

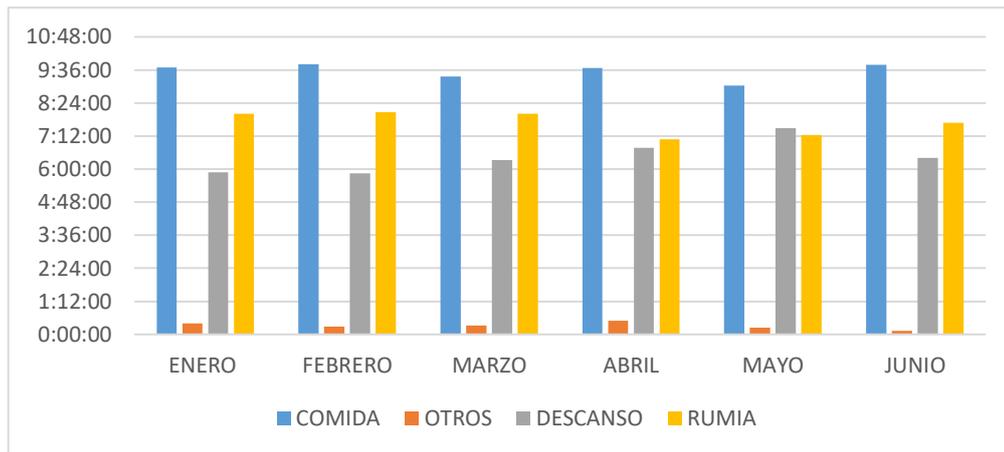


Figura 17. Promedio mensual de actividades Vaca_4173 "Karol"

En el gráfico se presenta el promedio mensual de cada actividad que ha realizado la vaca 4173 "Karol", durante los 6 meses de monitoreo. Se puede observar que la actividad de comida es considerablemente alta, con un promedio de 9 horas diarias en cada mes. La actividad de rumia mantiene un promedio de 7 horas, teniendo una disminución en los meses de abril y mayo, donde ha dedicado menos tiempo a la rumia. Por otra parte, el periodo de descanso tiene variaciones, con un incremento en abril y mayo. Por su parte, la actividad de "Otros" es mínima y se mantiene constante con valores bajos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La industria ganadera está cada vez más preocupada por el impacto del estrés en los bovinos, que puede ser perjudicial para su producción y su bienestar animal. Los ganaderos y científicos ahora se preocupan por identificar y medir el estrés, ya que se presenta subjetivamente y es difícil identificarlo de una sola manera, los factores que afectan el estrés son únicos para cada individuo. Además, también se discuten técnicas de aprendizaje automático en ganadería de precisión para identificar y controlar el estrés en los bovinos, promoviendo así el bienestar animal.

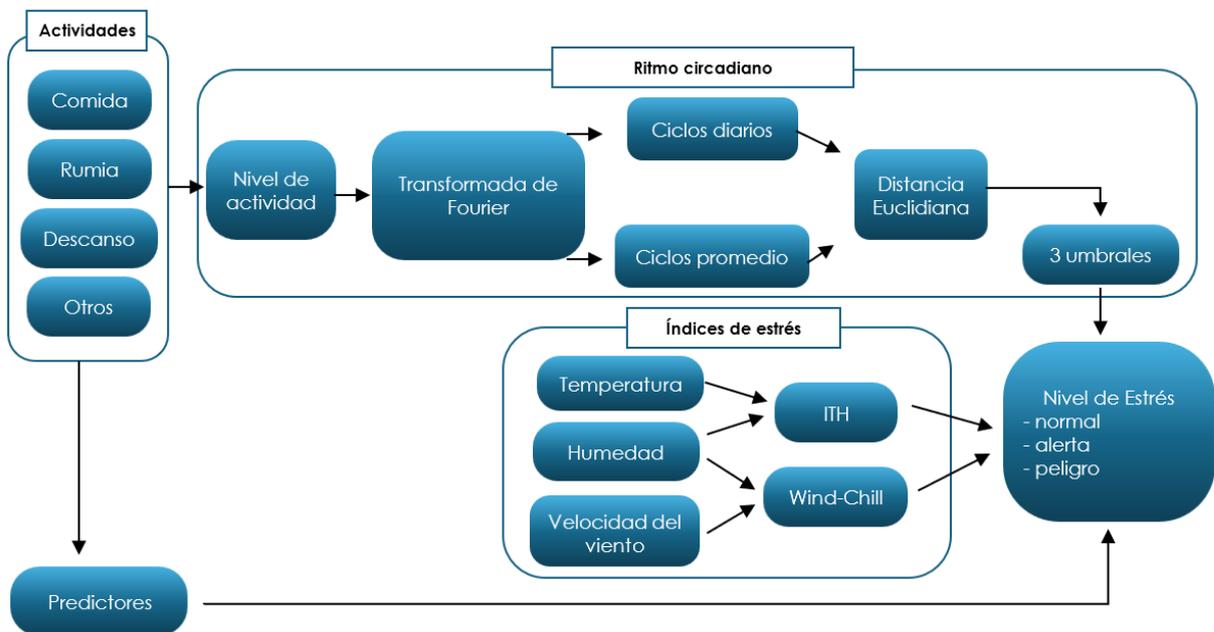


Figura 18. Modelo de desarrollo

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Indicadores fisiológicos

- **Índice de temperatura humedad (ITH)**

El índice de temperatura y humedad es una medida útil para estimar el nivel de estrés en los bovinos. Un ITH de 68 para las vacas lecheras es el umbral de alerta de estrés por calor. Se debe monitorear el índice para garantizar el bienestar del animal de

acuerdo a la temperatura y humedad (Jefo Nutrition Inc., 2021). Este índice de temperatura humedad se calcula a través de la siguiente fórmula (La Manna et al., 2020).

$$ITH = (1,8 \times T^{\circ} + 32) - (0,55 - 0,55 \times HR\% / 100) \times (1,8 \times T^{\circ} - 26).$$

- **Índice de sensación térmica (Wind Chill)**

El presente estudio ha analizado el impacto del viento y el frío en el bienestar animal examinando la índice sensación térmica durante períodos de condiciones climáticas de bajas temperaturas. La medición ha permitido identificar posibles factores de estrés por frío que pueden afectar el bienestar y la comodidad de los bovinos. Este índice de sensación térmica es calculado con la siguiente fórmula Moya Rodríguez (2020).

$$WCI = 13,12 + 0,6215 * Ta - 11,37 * V^{0.16} + 0,3965 * Ta * V^{0.16}$$

Ta: temperatura media en °C

V: es la velocidad del viento en Kph

- **Características fisiológicas**

Durante el estudio, se monitoreó al animal en periodos (comida, agua, descanso y otras actividades) mediante un acelerómetro triaxial. El tiempo dedicado a cada actividad se utiliza para calcular la actividad total del animal. La respuesta de estas variables a las condiciones ambientales y las normas de manejo se evaluó mediante un enfoque de monitoreo sistemático.

- **Comida**

La comida es una actividad que realizan las vacas ingiriendo, heno, granos u otras fuentes de alimento. La nutrición es crucial porque tiene un impacto directo en el crecimiento del animal y la producción de leche. El momento y la calidad de la nutrición pueden diferir según el tipo de alimento, su disponibilidad y las prácticas de manejo relacionadas con la alimentación.

- **Rumia**

La rumia es una actividad que realiza la vaca que consiste en masticar y escupir su comida repetidamente. Esta actividad ayuda a descomponer la fibra y ayuda a la digestión de los nutrientes. La duración y la frecuencia de la rumia se pueden utilizar para evaluar el estado del sistema digestivo y la salud general del animal.

- Descanso

El descanso es un período de inactividad de las vacas, que se caracteriza típicamente por estar inmóviles y no realizar ninguna acción, como comer o rumiar. El descanso ayuda a la digestión y alivia el estrés, y es la clave para una recuperación y un restablecimiento saludables de las vacas. Proporcionar a las vacas un lugar de descanso tranquilo y pacífico es beneficioso para su salud y productividad.

- Otros

Este período se refiere a actividades que no implican comer, beber o descansar. Interactuar en un pastizal, interactuar con otras vacas, criar o reproducirse. Puede ser más propenso a errores y menos organizado, pero sigue siendo esencial para un análisis exhaustivo del comportamiento y la condición de un animal.

4.1.2. Ritmo circadiano

El ritmo circadiano de los bovinos tiene un impacto en una variedad de procesos fisiológicos y comportamentales. La observación y el análisis de estos ciclos pueden revelar información importante sobre el estado de estrés de los bovinos como menciona Wagner et al. (2021) "La alteración de los ritmos circadianos puede tener efectos de gran alcance en la salud física y mental, incluso provocando cáncer y depresión. A su vez, los episodios de estrés o enfermedad en los bovinos alteran su ritmo circadiano de actividad". En la actividad física, las vacas siguen un patrón circadiano, con períodos de mayor actividad durante el día y períodos de mayor descanso durante la noche. El estrés puede alterar estos patrones, aumentando o reduciendo la actividad nocturna.

- **Nivel de actividad**

El conjunto de entrenamiento y prueba incluye información sobre la cantidad de tiempo que cada vaca dedica por hora a tres actividades básicas: comer, rumiar y descansar. Se utiliza el método descrito por Wagner et al. (2021) para determinar el nivel de actividad por vaca y por hora del día.

Tabla 17. Ponderaciones para calcular el Nivel de actividad

N°	N° arete	Comida	Rumia	Descanso	Otro
1	1	0.2619	-0.0816	-0.4593	0.4624
2	2	0.3671	-0.5849	0.1226	0.0902
3	3	0.3345	0.1382	-0.5951	0.1219
4	4	0.0237	-0.3038	-0.2591	0.5831
5	468	0.3687	-0.5973	0.0817	-0.0265
6	479	0.2635	0.0509	-0.5637	0.3319
7	4033	0.3039	-0.5036	0.0572	0.3882
8	4151	0.3585	-0.5973	0.1076	0.0557
9	4160	0.0965	-0.3967	-0.1622	0.5541
10	4173	0.2709	-0.3655	-0.1031	0.5314

Se utilizó un análisis factorial de correspondencias para determinar las ponderaciones atribuidas a cada actividad principal. Para un análisis más exhaustivo e individual, se determinaron pesos para cada vaca. Como resultado, se creó una ecuación única para cada animal a partir de la ecuación:

$$\text{Nivel de actividad} = \text{peso1 (tiempo de comida)} + \text{peso2 (tiempo de rumia)} + \text{peso3 (tiempo de descanso)} + \text{peso4 (tiempo de otros)} .$$

- **Transformada rápida de Fourier**

Aplicar la transformada rápida de Fourier a los niveles de actividad permite descomponer los datos en una serie de frecuencias sinusoidales ayudando a filtrar las señales de ruido y extraer la señal que corresponde al ritmo circadiano, mejorando la calidad de los datos para un análisis posterior, además permite identificar cambios en las frecuencias del nivel de actividad.

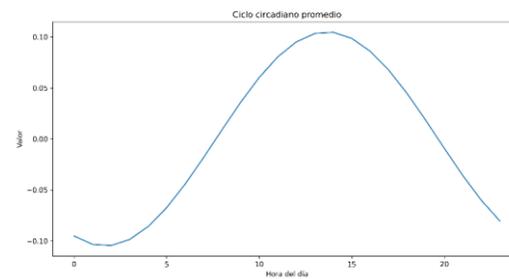
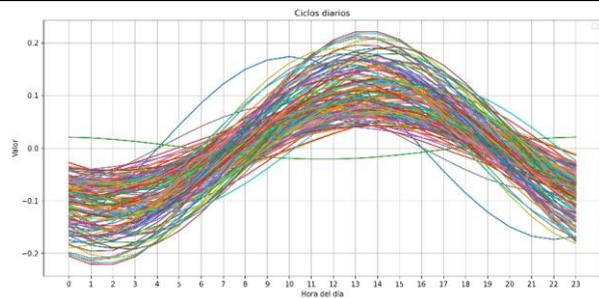
Como se muestra en la Tabla 18 mediante la aplicación de la transformada rápida de Fourier se logró calcular el ritmo circadiano de cada vaca del conjunto de prueba, además se extrajo un ritmo circadiano promedio con el cual se compara los ciclos diarios.

Tabla 18. Ciclo circadiano diario y promedio

N°	N° arete	Ciclo circadiano diario	Ciclo circadiano promedio
1	1		
2	2		
3	3		

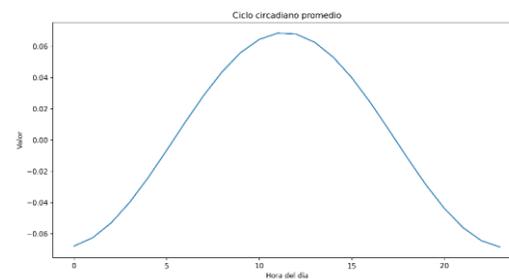
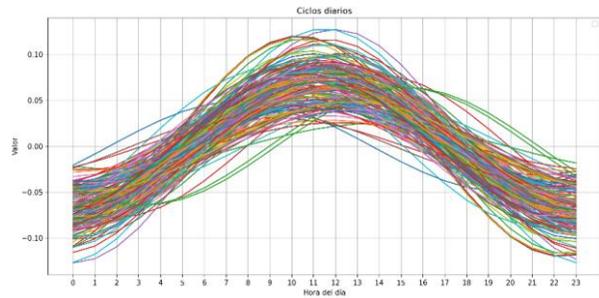
4

4



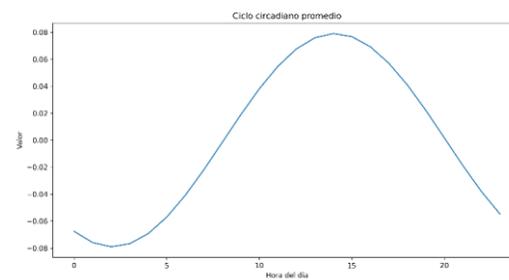
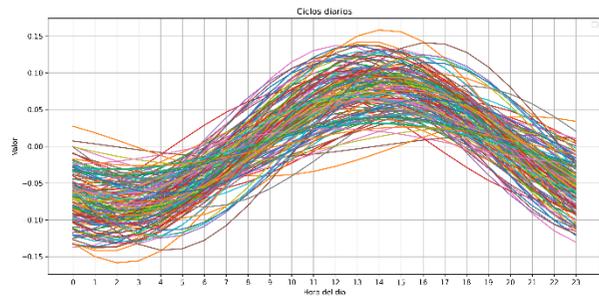
5

468

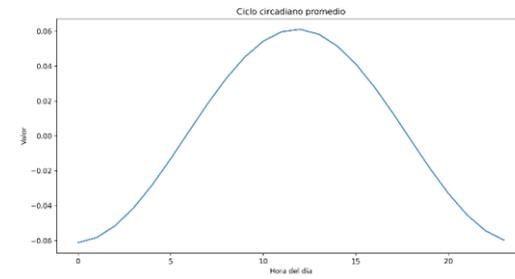
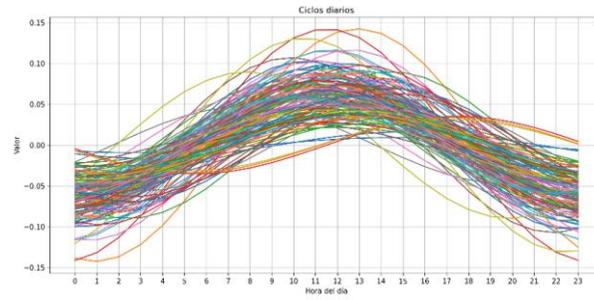


6

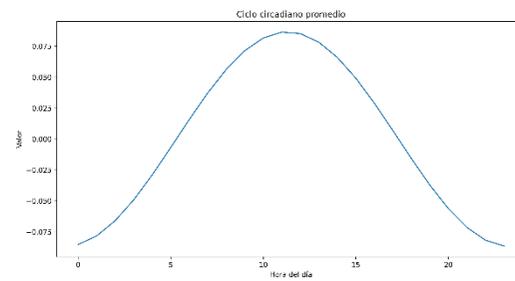
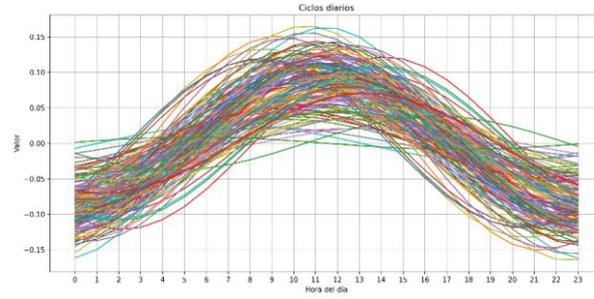
479



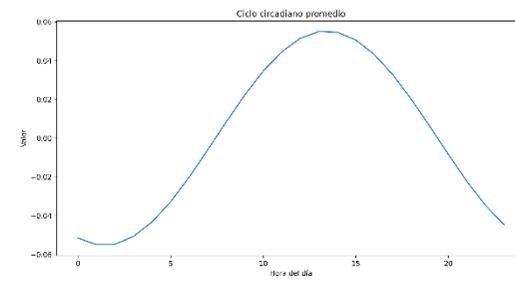
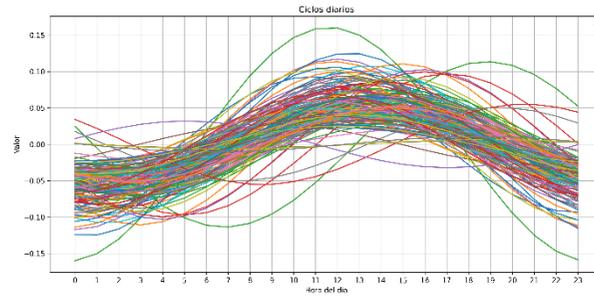
7 4003



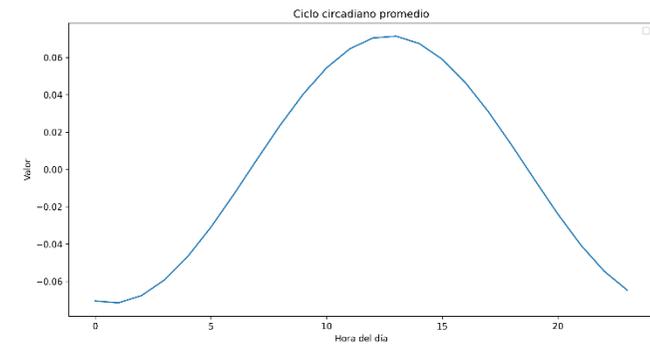
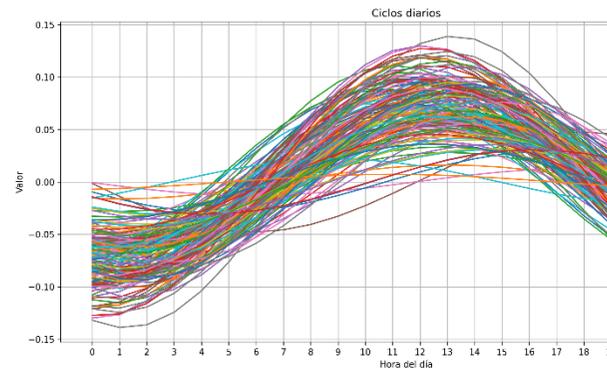
8 4151



9 4160



1
0 4173



Después de aplicar la transformada rápida de Fourier (**FFT**) al nivel de actividad, se descubrió que los niveles de actividad eran significativamente más altos durante el día en comparación con la noche. Esto se debió a que la FFT permitió descomponer las señales de actividad en sus componentes de frecuencia, lo que destacó los patrones de actividad y descanso diarios. Estas observaciones son importantes porque los cambios en estos patrones, como un aumento inusual de la actividad nocturna o una disminución de la actividad diurna, pueden ser indicativos de estrés, lo que proporciona una herramienta precisa y efectiva para monitorear el bienestar animal.

- **Distancia euclidiana**

Para detectar cambios en el ciclo circadiano, se utiliza la distancia euclidiana, que proporciona una medida cuantitativa de la desviación de los patrones normales de la actividad. La distancia euclidiana permite identificar diferencias significativas entre el estado actual y el estado esperado al comparar los datos de actividad diaria con el ciclo circadiano promedio. Un aumento en la distancia euclidiana puede ser un signo de estrés o cambios en el ciclo circadiano, como un aumento inesperado en la actividad nocturna o una reducción en la actividad diurna.

4.1.3. Algoritmos seleccionados

Después de una revisión exhaustiva de la literatura que se evidencia en la Tabla 2, se determinaron los modelos ML más factibles analizando su desempeño dentro del estudio de cada artículo, dando como resultado el gráfico de barra que se muestra en la Figura 3, dependiendo de la frecuencia con la que cada modelo fue clasificado como factible, se procedió a elegir los algoritmos a ser evaluados.

- **Bosques aleatorios**

Los bosques aleatorios son un modelo de aprendizaje supervisado que emplea el principio de bagging para generar un bosque de árboles de decisión aleatoriamente al conjunto de datos original. El algoritmo combina predicciones basadas en múltiples hipótesis para abordar la alta dimensionalidad y las relaciones complejas de los datos. Se utiliza para una amplia gama de propósitos, desde la predicción de enfermedades y la clasificación de imágenes, está respaldado por ecuaciones matemáticas para seleccionar características y combinar predicciones.

- **k-Vecinos más cercanos (KNN)**

Knn es un modelo de aprendizaje supervisado que se basa en la recurrencia de la similitud de datos. La distancia euclidiana se utiliza para medir distancias entre datos y los k vecinos más cercanos se utilizan para clasificarlos. Este algoritmo es particularmente útil cuando los datos tienen una estructura local y no necesitan una fase de entrenamiento compleja. Se utiliza ampliamente en aplicaciones como recomendación de productos, detección de anomalías y se basa en fórmulas matemáticas para calcular la distancia entre unidades de datos, como distancia estocástica discreta conocida como distancia euclidiana. Los algoritmos pueden

encontrar patrones y similitudes en datos no estructurados y de alta dimensión, lo que los convierte en un recurso valioso para diversos problemas, incluida la predicción de enfermedades, la clasificación de imágenes, la recomendación de productos, etc.

- **Máquinas de vectores soporte (SVM)**

SVM emplea un modelo de aprendizaje supervisado para identificar el mejor hiperplano en el espacio de características, lo que minimiza la brecha entre las clases de datos. El algoritmo se basa en el margen máximo y las funciones kernel para gestionar datos de alta dimensión y la necesidad de una separación precisa de las clases. Su uso es amplio y abarca todo, desde la clasificación de texto hasta el reconocimiento de patrones. SVM emplea métodos matemáticos para determinar el margen máximo y transformar los datos mediante funciones kernel.

- **XGBoost**

Xgboost es un modelo de aprendizaje supervisado que emplea el aumento de gradiente, está optimizado para lograr una alta eficiencia y escalabilidad. Al agregar árboles de decisión y reducir una función de pérdida secuencial, se mejora el rendimiento del modelo. Es muy adecuado para situaciones complejas y conjuntos de datos que requieren una gran potencia computacional. Xgboost predice ventas y detecta fraudes en aplicaciones que utilizan fórmulas matemáticas para aumentar y estabilizar el gradiente.

- **Redes neuronales artificiales (ANN)**

Las redes neuronales artificiales, son sistemas de aprendizaje que replican la estructura y función de las redes neuronales biológicas. Las capas de neuronas forman los nodos, y todos ellos son funciones de activación no lineal. Las ANN pueden hacer cosas que son difíciles de capturar usando otros modelos supervisados, pero cuando los datos son complejos y no lineales.

- **Redes neuronales convolucionales (CNN)**

Las CNN son un tipo de red neuronal artificial que se encarga principalmente del procesamiento de imágenes y otros datos en forma de cuadrícula. Las CNN se componen de CNN, CNN pooling, CNN completamente conectadas. Cuando los datos son espaciales y se necesita detectar patrones locales, este es el método indicado. Las CNN utilizan una gama de aplicaciones, incluido el reconocimiento de

objetos y la recuperación de imágenes, gracias a su capacidad para extraer información de las imágenes.

- **Memoria a corto plazo y larga duración (LSTM)**

La memoria a largo plazo de LSTM es un tipo de red neuronal que está diseñada para manejar y procesar secuencias de datos, teniendo en cuenta la memoria a largo plazo de entradas de datos pasadas. Las celdas de memoria, el olvido de entradas, las puertas de salida, la memoria, el estado y mantenerlo activo durante largos períodos son los objetivos principales. LSTM utiliza ampliamente en una amplia gama de aplicaciones, desde la traducción automática hasta el reconocimiento de voz. Las celdas y puertas operativas se actualizan en función de fórmulas matemáticas que permiten la evolución y el aprendizaje del modelo a lo largo del tiempo, lo que da como resultado un modelado preciso de secuencias complejas con dependencias a largo plazo.

- **Redes neuronales profundas (DNN)**

Las redes neuronales profundas, tienen capas ocultas que permiten la detección de patrones abstractos y complejos en los datos. Las capas proporcionan una representación de la información en múltiples niveles de abstracción, lo que las hace ideales para procesar tipos complejos de datos. Su capacidad para aprender e interpretar representaciones tridimensionales complejas lo transforma en una opción popular para aplicaciones como el reconocimiento de imágenes y el procesamiento del lenguaje natural. La programación dinámica es un algoritmo matemático que ajusta los pesos en múltiples capas y corrige los errores en la propagación hacia atrás para optimizar la función de costo.

4.1.4. Entrenamiento de algoritmos

- Importación de librerías: se importan las librerías necesarias para la manipulación de datos, visualización, y evaluación del modelo
- Carga de datos: se cargan los datos de entrenamiento y prueba desde archivos csv.
- Conteo de niveles de estrés: se cuenta la cantidad de ocurrencias de cada nivel de estrés en los conjuntos de datos.
- Mapeo de categorías: se mapean las categorías de los niveles de estrés a valores numéricos.

- Separación de características y etiquetas: se separan las características y las etiquetas para los conjuntos de entrenamiento y prueba.
- Construcción del modelo y entrenamiento: se establecen los parámetros necesarios como las capas y los activadores, además se realiza el respectivo entrenamiento con los datos cargados.
- Predicciones y evaluación del modelo: se realizan predicciones en el conjunto de prueba y se evalúa el desempeño del modelo utilizando diversas métricas (exactitud, precisión, recall, puntuación F1).
- Curvas roc y auc: se calculan y visualizan las curvas roc y los valores de auc para cada clase.

4.1.5. Análisis de algoritmos

El conjunto de datos obtenidos se clasificó en dos partes que es entrenamiento y prueba. Para la evaluación del modelo se tomaron encuentra métricas como la exactitud (tanto verdaderos positivos como verdaderos negativos), precisión (Proporción de verdaderos positivos entre el número total de positivos predichos), recall (proporción de verdaderos positivos entre el número total de positivos reales), F1 (media armónica de la precisión y el recall) y AUC (medida de la capacidad del modelo para distinguir entre las clases). El conjunto de datos se dividió temporalmente en cuatro meses para el entrenamiento y dos meses para las pruebas. En la siguiente sección se muestran los resultados y el análisis de los siguientes algoritmos: bosques aleatorios, máquina de vector de soportes, redes neuronales profundas, memoria a corto plazo y largo plazo, redes neuronales convolucionales, redes neuronales artificiales, XGBoost, k-vecinos más cercanos.

- **Bosques aleatorios**

Tabla 19. Métricas de evaluación de RF

Nº	Nº arete	Exactitud	Precisión	Recall	F1	AUC
1	1	0.8009	0.7149	0.8009	0.7498	0.5374
2	2	0.8596	0.8558	0.8596	0.8577	0.441
3	3	0.9205	0.8903	0.921	0.9047	0.5723
4	4	0.8759	0.8105	0.8759	0.8271	0.5813
5	468	0.9092	0.887	0.9092	0.8967	0.5218
6	479	0.8152	0.7323	0.8152	0.7655	0.4883
7	4003	0.9393	0.9252	0.9393	0.9322	0.5506

8	4151	0.7989	0.7311	0.7989	0.7613	0.5089
9	4160	0.9583	0.9252	0.9583	0.9415	0.5695
10	4173	0.8395	0.7468	0.8395	0.7883	0.5141
Promedio		0.87173	0.82191	0.87178	0.84248	0.52852

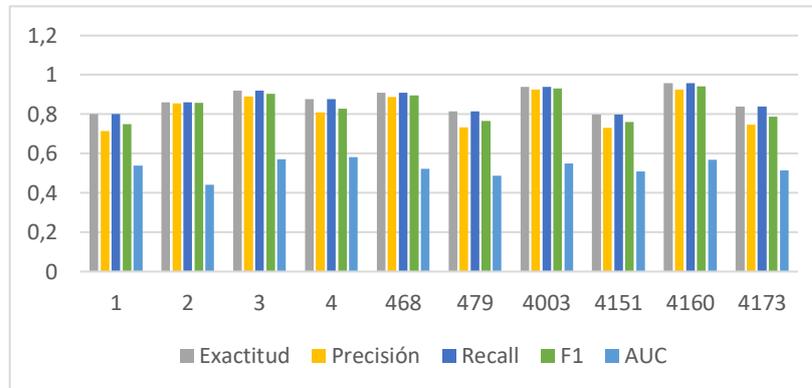


Figura 19. Evaluación del Algoritmo de RF

Los gráficos presentados muestran las métricas de evaluación del algoritmo Bosques Aleatorios en distintos conjuntos de datos identificados por el número de collar de cada vaca. Mencionando las métricas de evaluación como: Exactitud: 0.87173, Precisión: 0.8219, Recall: 0.87178, F1: 0.84248, AUC: 0.52852, por tanto, estos valores dan a conocer que el modelo presenta un buen desempeño de manera general, aunque AUC tiene una variabilidad mayor y un promedio más bajo en comparación a los otros parámetros.

- **K-vecinos más cercanos**

Tabla 20. Métricas de evaluación de KNN

Nº	Nº arete	Exactitud	Precisión	Recall	F1	AUC
1	1	0.8325	0.6946	0.8325	0.7571	0.5348
2	2	0.9166	0.8564	0.9166	0.8823	0.4913
3	3	0.9385	0.8809	0.9359	0.9088	0.5736
4	4	0.8806	0.7756	0.8806	0.8248	0.4953
5	468	0.9389	0.8816	0.9389	0.9094	0.5287
6	479	0.8405	0.7065	0.8405	0.7677	0.4879
7	4003	0.9619	0.9254	0.9619	0.9433	0.5681
8	4151	0.8423	0.7181	0.8423	0.7752	0.4787
9	4160	0.9619	0.9254	0.9619	0.9433	0.4749
10	4173	0.8617	0.7425	0.8617	0.7976	0.5359
Promedio		0.89754	0.8107	0.89728	0.85095	0.51692

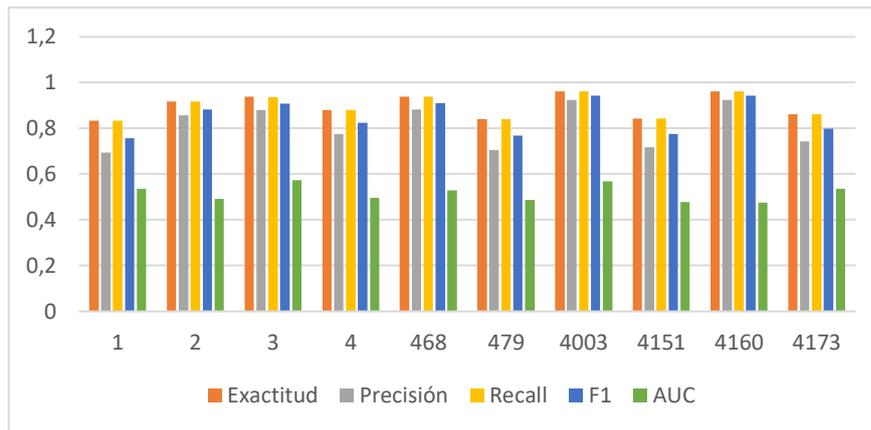


Figura 20. Evaluación del Algoritmo de KNN

Las gráficas muestran las métricas de evaluación del modelo KNN para diferentes conjuntos de datos, los mismos que son identificados por el número de arete de la vaca. Las métricas incluyen, Exactitud: 0.87173, Precisión: 0.82191, Recall: 0.87178, F1: 0.84248, AUC: 0.52852, en el que podemos indicar que el modelo tiene un desempeño alto con valores promedio en exactitud, precisión, recall y F1, aunque el AUC muestra una variabilidad mayor y un promedio más bajo en comparación a otras métricas.

- **Redes Neuronales Convolucionales**

Tabla 21. Métricas de evaluación de CNN

Nº	Nº arete	Exactitud	Precisión	Recall	F1	AUC
1	1	0.8333	0.6944	0.8333	0.7575	0.5
2	2	0.9215	0.8483	0.921	0.8832	0.5
3	3	0.9385	0.8809	0.9386	0.9088	0.5
4	4	0.8806	0.7756	0.8806	0.8248	0.5
5	468	0.9389	0.8816	0.9389	0.9094	0.5
6	479	0.8405	0.7065	0.8405	0.7677	0.5
7	4003	0.9619	0.9254	0.9619	0.9433	0.5
8	4151	0.8478	0.7188	0.8478	0.778	0.5
9	4160	0.9619	0.9254	0.9619	0.9433	0.5
10	4173	0.8617	0.7425	0.8617	0.7976	0.5
	Promedio	0.89866	0.80994	0.89862	0.85136	0.5

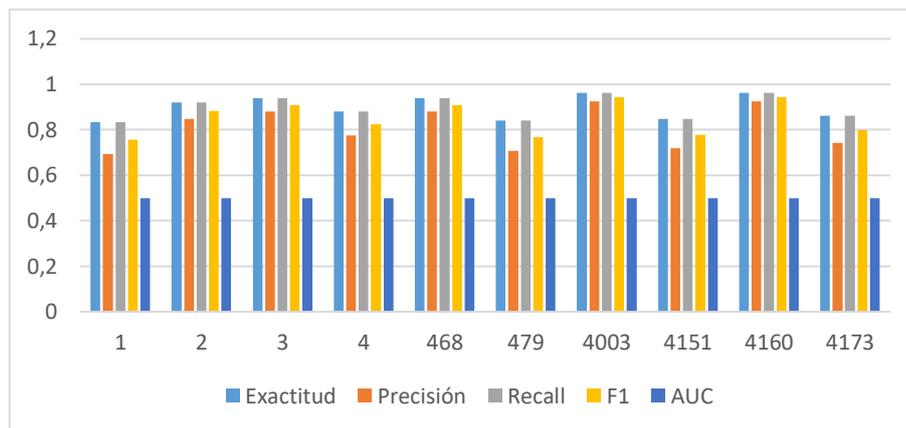


Figura 21. Evaluación del Algoritmo de CNN

La tabla 21 muestra las métricas de evaluación de la CNN aplicada a varios conjuntos de datos. Las métricas son Exactitud: 0.89866, Precisión: 0.80994, Recall: 0.89862, F1: 0.85136, AUC: 0.5 (constante). Lo que indica que el modelo presenta un alto rendimiento en las primeras tres métricas de estimación con un AUC constante de 0.5 lo que sugiere que el modelo no podría estar diferenciando bien las clases.

- **Máquina de soporte vectorial**

Tabla 22. Métricas de evaluación de SVM

Nº	Nº arete	Exactitud	Precisión	Recall	F1	AUC
1	1	0.7962	0.7315	0.7962	0.7608	0.4823
2	2	0.9086	0.848	0.9086	0.8772	0.5243
3	3	0.9144	0.8878	0.9144	0.9007	0.4929
4	4	0.8409	0.7808	0.8409	0.8087	0.6286
5	468	0.904	0.8826	0.904	0.8931	0.4647
6	479	0.7807	0.7303	0.7807	0.7536	0.514
7	4003	0.9612	0.9253	0.9612	0.9429	0.5359
8	4151	0.7853	0.7344	0.7853	0.7588	0.4847
9	4160	0.948	0.9249	0.948	0.9363	0.4276
10	4173	0.8147	0.7524	0.8147	0.7808	0.4907
Promedio		0.8654	0.8198	0.8654	0.84129	0.50457

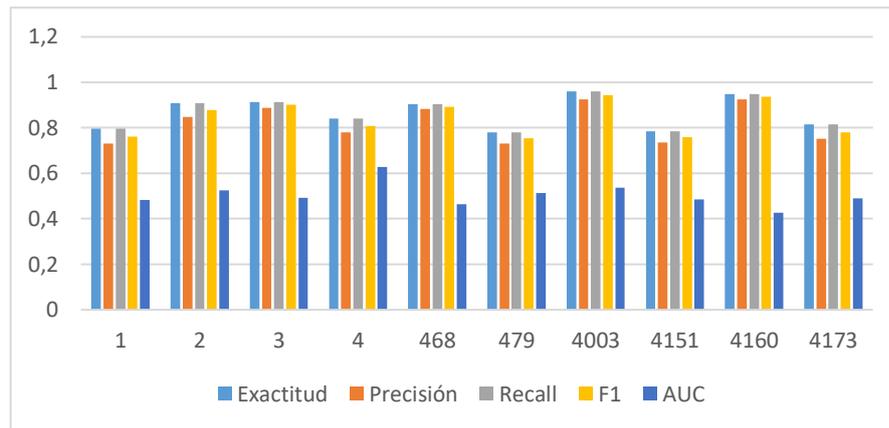


Figura 22. Evaluación del Algoritmo de SVM

La tabla 22 muestra las métricas de evaluación de un modelo de SVM que se aplica a varios conjuntos de datos, lo que indica que en las tres primeras métricas el modelo está identificando correctamente la mayoría de las muestras positivas, sin embargo, el AUC de 0,5 sugiere que el modelo tiene una capacidad limitada para distinguir entre clases positivas y negativas.

- **XGBoosts**

Tabla 23. Métricas de evaluación de XGBoosts

N°	N° arete	Exactitud	Precisión	Recall	F1	AUC
1	1	0.8132	0.7089	0.8132	0.7525	0.5512
2	2	0.8837	0.8529	0.8837	0.8678	0.4519
3	3	0.932	0.8898	0.932	0.9079	0.569
4	4	0.8778	0.822	0.8778	0.8227	0.6363
5	468	0.9196	0.8847	0.9196	0.9016	0.4604
6	479	0.8297	0.7348	0.8297	0.7674	0.4834
7	4003	0.9364	0.9251	0.9364	0.9307	0.6195
8	4151	0.8242	0.7509	0.8242	0.7779	0.4999
9	4160	0.9554	0.9298	0.9554	0.9412	0.4523
10	4173	0.8413	0.7469	0.8413	0.7889	0.527
Promedio		0.88133	0.82458	0.88133	0.84586	0.52509

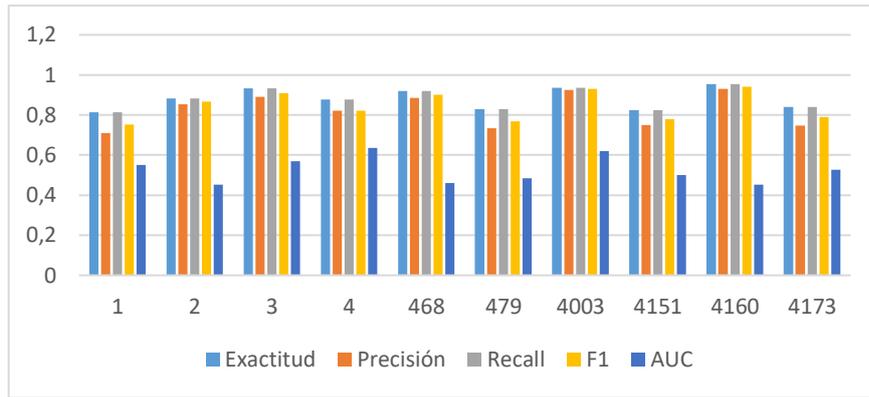


Figura 23. Evaluación del Algoritmo de XGBoots

El modelo XGBoots muestra un buen rendimiento en las 4 primeras métricas con valores altos. Sin embargo, el AUC es ligeramente superior a 0,5, lo que sugiere que el modelo tiene una capacidad moderada para la distinción de clases. El modelo se desempeña bien, aunque hay márgenes para mejorar la capacidad de discriminación del área bajo la curva.

- **Memoria a corto y largo plazo**

Tabla 24. Métricas de evaluación de LSTM

N°	N° arete	Exactitud	Precisión	Recall	F1	AUC
1	1	0.8325	0.6943	0.8325	0.7571	0.5541
2	2	0.921	0.8483	0.921	0.8832	0.4275
3	3	0.9385	0.8809	0.9385	0.9088	0.5481
4	4	0.8806	0.7756	0.8806	0.8248	0.6406
5	468	0.9389	0.8816	0.9389	0.9094	0.5328
6	479	0.8405	0.7065	0.8405	0.7677	0.4476
7	4003	0.9619	0.9254	0.9619	0.9433	0.5234
8	4151	0.8478	0.7188	0.8478	0.778	0.4858
9	4160	0.9619	0.9254	0.9619	0.9433	0.7728
10	4173	0.8617	0.7425	0.8617	0.7976	0.4743
Promedio		0.89853	0.80993	0.89853	0.85132	0.5407

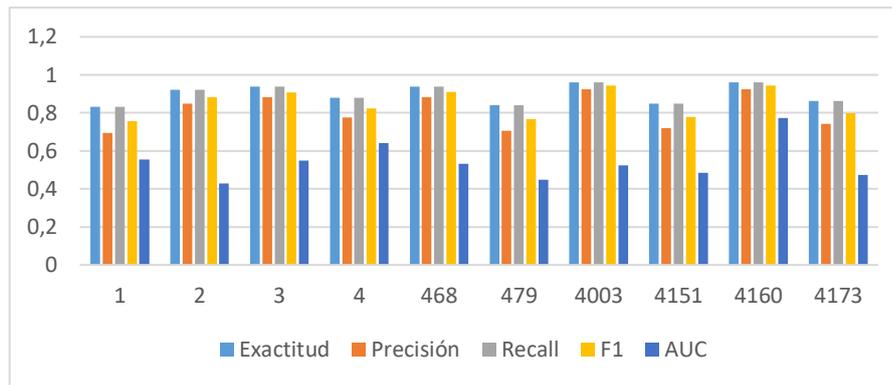


Figura 24. Evaluación del Algoritmo de LSTM

El modelo LSTM evaluado muestra un buen desempeño de acuerdo con las métricas que se tomaron en cuenta para la evaluación en términos de exactitud, precisión, recall y F1 Score, son promedios altos lo que indican la eficacia del modelo y posee un equilibrio entre la detección de verdaderos positivos y la minimización de los falsos positivos. Por otra parte, el valor promedio de AUC es bajo, sugiriendo que el modelo podría tener un margen que se debe mejorar en términos de capacidad para distinguir de mejor manera la clase.

- **Redes Neuronales Artificiales**

Tabla 25. Métricas de evaluación de ANN

N°	N° arete	Exactitud	Precisión	Recall	F1	AUC
1	1	0.8317	0.6942	0.8317	0.7568	0.5325
2	2	0.9211	0.8483	0.9211	0.8832	0.4233
3	3	0.9385	0.8809	0.9385	0.9088	0.5227
4	4	0.8806	0.7756	0.8806	0.8248	0.6401
5	468	0.9389	0.8816	0.9389	0.9094	0.4923
6	479	0.8405	0.7065	0.8405	0.7677	0.4787
7	4003	0.9619	0.9254	0.9619	0.9433	0.5523
8	4151	0.8478	0.7188	0.8478	0.778	0.4758
9	4160	0.9619	0.9254	0.9619	0.9433	0.7569
10	4173	0.8617	0.7425	0.8617	0.7976	0.4849
Promedio		0.89846	0.80992	0.89846	0.85129	0.53595

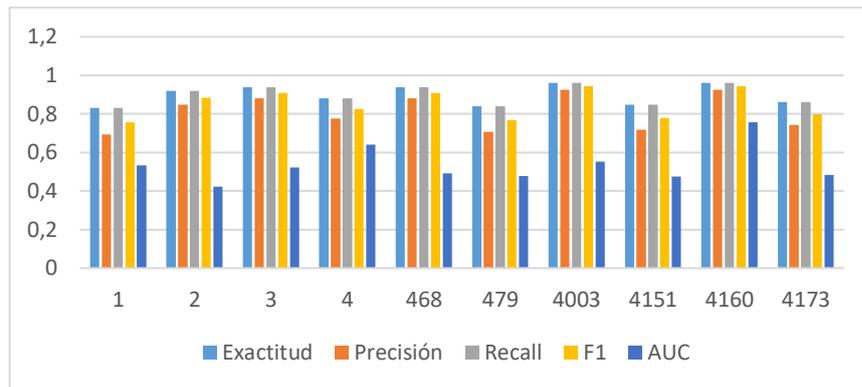


Figura 25. Evaluación del Algoritmo de ANN

Las métricas del modelo ANN son prácticamente iguales a las del modelo anterior lo que indica que tanto LSTM con ANN son efectivos en términos de predicción correctas y tienen un buen equilibrio entre la detección de verdaderos positivos y la minimización de falsos positivos. Ambos modelos muestran que con respecto a AUC hay márgenes que se deben mejorar.

- **Redes Neuronales Profundas**

Tabla 26. Métricas de evaluación de DNN

Nº	Nº arete	Exactitud	Precisión	Recall	F1	AUC
1	1	0.8325	0.6943	0.8325	0.7571	0.5701
2	2	0.9211	0.8483	0.9211	0.8832	0.4421
3	3	0.9385	0.8809	0.9385	0.9088	0.5213
4	4	0.8806	0.7756	0.8806	0.8248	0.6283
5	468	0.9389	0.8816	0.9389	0.9094	0.4944
6	479	0.8405	0.7065	0.8405	0.7677	0.4927
7	4003	0.9619	0.9254	0.9619	0.9433	0.5495
8	4151	0.8478	0.7188	0.8478	0.778	0.4724
9	4160	0.9619	0.9254	0.9619	0.9433	0.7
10	4173	0.8617	0.7425	0.8617	0.7976	0.4533
Promedio		0.89854	0.80993	0.89854	0.85132	0.53241

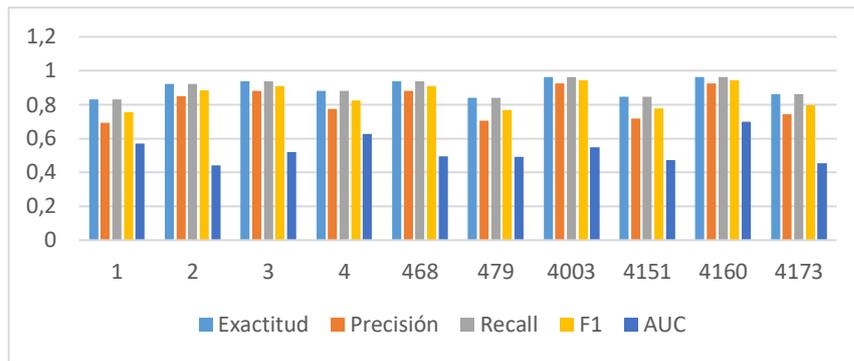


Figura 26. Evaluación del Algoritmo de DNN

El modelo DNN muestra un rendimiento muy similar al de los modelos antes mencionados en términos de exactitud, precisión, recall y F1 Score. Sin embargo, el valor de AUC es ligeramente menor, lo que indica que el modelo DNN podría beneficiarse de ajustes adicionales para mejorar su capacidad para distinguir clases.

- **Comparativa de modelos ML**

Los resultados presentes en la Tabla 27 muestran el desempeño promedio de los modelos seleccionados.

Tabla 27. Comparativa de los algoritmos evaluados

ML	Exactitud	Precisión	Recall	F1	AUC
Randon Forest	0.87173	0.82191	0.87178	0.84248	0.52852
K-NN	0.89754	0.8107	0.89728	0.85095	0.51692
CNN	0.89866	0.80994	0.89862	0.85136	0.5
SVM	0.8654	0.8198	0.8654	0.84129	0.50457
XGBoost	0.88133	0.82458	0.88133	0.84586	0.52509
LSTM	0.89853	0.80993	0.89853	0.85132	0.5407
ANN	0.89846	0.80992	0.89846	0.85129	0.53595
DNN	0.89854	0.80993	0.89854	0.85132	0.53241

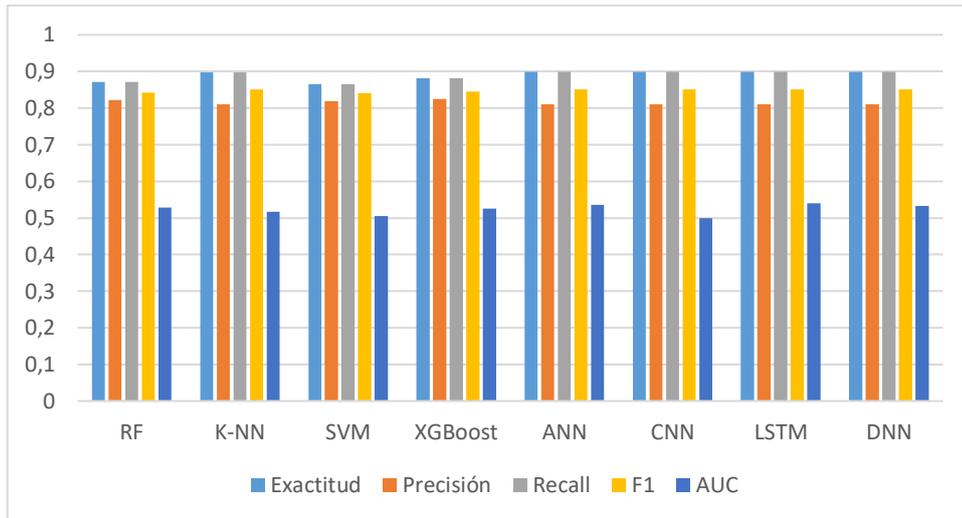


Figura 27. Comparativa de algoritmos evaluados

Los modelos como las redes neuronales convolucionales (CNN) y memoria a corto y largo plazo (LSTM), obtuvieron los mejores resultados en términos de exactitud (0.89866 y 0.89853 respectivamente), recuerdo (0.89862 y 0.89853) y Puntuación F1 (0,85136 y 0,85132). Aunque la AUC de CNN es de 0.5, lo que sugiere una menor capacidad para distinguir entre diferentes niveles de estrés en comparación, LSTM destaca con un AUC de 0.5407, indicando una mejor capacidad. Sin embargo, la precisión de CNN y LSTM fue similar (0.80994 y 0.80993), su capacidad para equilibrar precisión y recordar hace a estos modelos ideales para la detección de estrés.

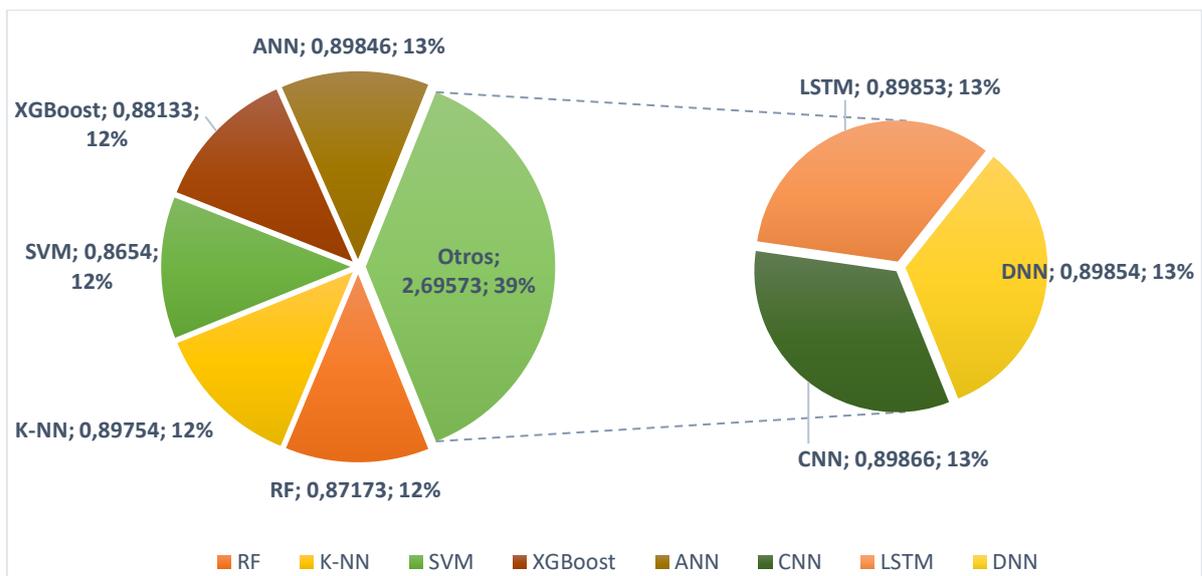


Figura 28. Exactitud de los modelos evaluados

Las Redes Neuronales Profundas (DNN) también muestran un rendimiento muy cercano al de CNN y LSTM, con una exactitud de 0.89854, recall de 0.89854, y F1 Score de 0.85132. Su AUC es de 0.53241, lo que las hace un competidor fuerte en la detección de estrés.

El modelo de máquinas de vectores de soporte (SVM) mostró un desempeño ligeramente inferior con una exactitud de 0.8654, precisión de 0.8198, recuperación de 0.8654 y puntuación f1 de 0.8419. Esto sugiere que, si bien SVM es competente, no captura las complejidades de los datos con tanta eficacia.

Los algoritmos de K-vecinos más cercanos (KNN) y Bosques aleatorios (RF) arrojaron resultados intermedios. KNN tuvo una exactitud de 0.89754 y un f1-score de 0.85095, mientras que RF alcanzó una exactitud de 0.87173 y un f1-score de 0.84248. Estos modelos, aunque efectivos, no superaron el rendimiento al de las redes neuronales.

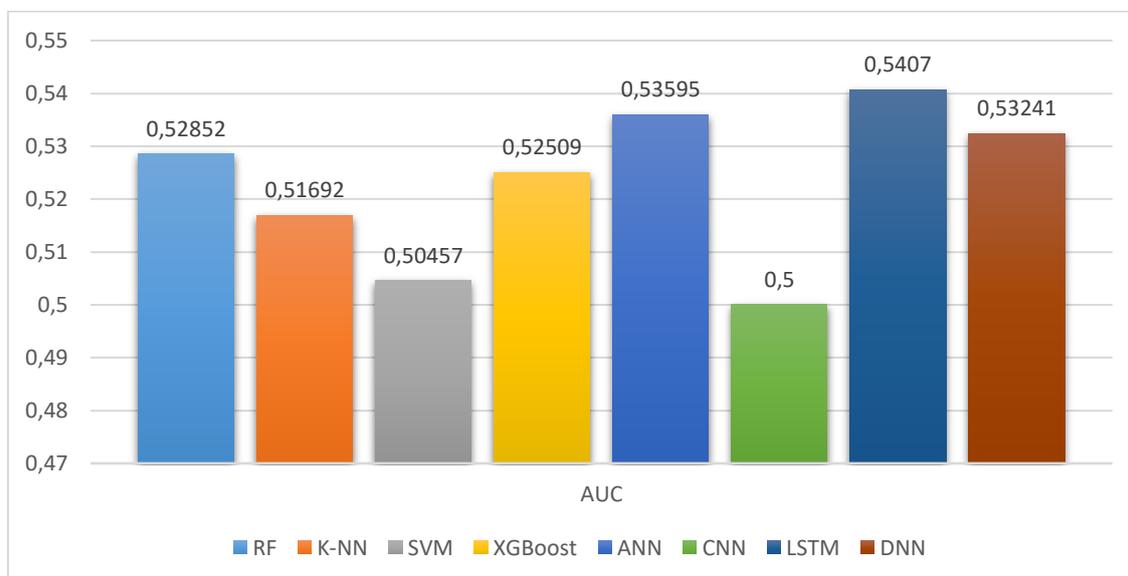


Figura 29. Evaluación de los algoritmos en base a la AUC

En términos de AUC, el modelo de redes neuronales también mostró un mejor rendimiento con un valor de 0,5407 para LSTM y 0,53595 para ANN, en comparación, a Bosques aleatorios (RF) con 0.52852 y XGBoost con 0,52509, lo que indica una menor capacidad de predecir los niveles de estrés.

En resumen, las redes neuronales, especialmente CNN, DNN y LSTM, son la mejor opción para la detección del estrés en bovinos debido a su alta precisión, recuperación y puntuaciones F1, así como a su excelente rendimiento AUC. Esto

resalta la importancia de utilizar técnicas avanzadas de aprendizaje automático para mejorar el bienestar animal mediante una detección temprana y precisa del estrés.

4.2. DISCUSIÓN

Becker et al. (2021) en su estudio denominado “Predicción del estrés térmico del ganado lechero mediante técnicas de aprendizaje automático”, se centra en predecir el estrés térmico en vacas lecheras mediante técnicas de aprendizaje automático, utilizando un sistema de puntuación del estrés térmico y factores como el índice temperatura-humedad, frecuencia respiratoria y tiempo de descanso, entre otros. Evaluaron tratamientos de sombra portátil, rociadores de PVC y control sin mitigación del calor, encontrando que Random Forest superó a regresión logística y Naïve Bayes en precisión y exactitud. Esta investigación, por otro lado, evalúa diversas técnicas de aprendizaje automático para identificar el estrés en bovinos, incluye un análisis más amplio y profundo, abarcando aspectos esenciales del aprendizaje automático, el esquema CRISP-DM, y factores de estrés como ITH y Wind Chill. Se analizaron 52 artículos, destacando algoritmos avanzados como CNN, DNN y LSTM, además de Random Forest, KNN, SVM y XGBoost. Los datos se recolectaron en períodos de alimentación, rumia, descanso y otros, procesándose para determinar el nivel de actividad, mediante análisis factorial de correspondencia. El ciclo circadiano se obtuvo con la Transformada Rápida de Fourier y se midió con la distancia euclidiana. Los algoritmos se evaluaron con métricas estándar (exactitud, precisión, recuperación, F1 y AUC), identificando a CNN, DNN y LSTM como los más eficientes. Nuestra investigación amplía significativamente el análisis al considerar una gama más amplia de algoritmos, promoviendo el uso del aprendizaje automático en la ganadería de precisión para desarrollar soluciones innovadoras y eficientes para el bienestar animal.

Brouwers et al. (2023), en su estudio “Evaluación no invasiva del estrés térmico en bovinos: un enfoque basado en el aprendizaje automático y la termografía infrarroja”, investigan el uso de tecnologías y modelos computacionales para predecir el estrés térmico mediante mediciones no invasivas, utilizando una base de datos de una cámara climática y evaluando algoritmos como RNA, SVM, árbol de decisión y KNN. Los mejores resultados se lograron con Random Forest y SVM, alcanzando una precisión superior al 90%, y el algoritmo FLR alcanzó una precisión del 94,1%. En comparación, esta investigación, utiliza collares inteligentes para recolectar

datos de bovinos en su entorno natural, incluyendo parámetros de comportamiento, además dentro de los datos utilizado se implementó un nivel de actividad e índices de estrés como ITH y Wind Chill. Tras la evaluación de ocho algoritmos: Bosques aleatorios, k-vecinos más cercanos (KNN), máquinas vectoriales de soporte (SVM), XGBoost, redes neuronales convolucionales (CNN), redes neuronales artificiales (ANN), memoria a largo y corto plazo (LSTM), redes neuronales profundas (DNN), se destacaron algoritmos avanzados como CNN, DNN y LSTM. Los modelos CNN y LSTM obtuvieron exactitudes de 0.89866 y 0.89853, respectivamente, DNN también mostraron un rendimiento cercano de 0.8654. Nuestra tesis considera el estrés durante diferentes períodos de actividad y utiliza una gama más amplia de métricas de evaluación (exactitud, precisión, recuperación, F1 y AUC), proporcionando una evaluación más completa y precisa sobre los algoritmos para predecir estrés en bovinos

El estudio de Lardy et al. (2023) titulado "Discriminación de condiciones patológicas, reproductivas o de estrés en vacas mediante aprendizaje automático en datos de actividad basados en sensores", se centra en la utilización de tecnologías de ganadería de precisión (PLF) para detectar y clasificar una variedad de condiciones de salud, estrés y reproducción en vacas a través del análisis de datos de series temporales. Utilizan algoritmos como Bosques Aleatorios para relacionar características temporales con las condiciones de los animales clasificando correctamente más del 90% de las series de "control" y el 24% de las series "no control". Hubo una probabilidad del 56% al 86% de detectar con éxito una serie de 24 h en torno a una enfermedad, celo o parto.

En comparación, esta tesis avanza en este campo al implementar collares inteligentes. Se recolectaron y analizaron datos de 4 periodos: comer, rumiar, descansar y otros, utilizando técnicas avanzadas como análisis factorial de correlación para calcular ponderaciones de cada periodo y con ello establecer un nivel de actividad. Además, integramos el análisis del ciclo circadiano mediante transformada rápida de Fourier y evaluamos índices de estrés como ITH y Wind Chill para establecer niveles precisos de estrés.

En términos de metodología, nuestra investigación amplía el enfoque al incluir un marco teórico robusto que abarca múltiples aspectos del aprendizaje automático, implementando el esquema metodológico CRISP-DM y evaluando una gama más

amplia de algoritmos como Bosques Aleatorios, SVM, XGBoost, y redes neuronales de los cuales destacaron CNN, LSTM y DNN. Estos modelos demostraron una mejora significativa en términos de exactitud, precisión, recall y F1 Score en la predicción de niveles de estrés, superando las capacidades de los métodos tradicionales mencionados por Lardy et al. (2023).

En resumen, nuestra tesis no solo contribuye a la ganadería de precisión mediante la aplicación práctica de técnicas avanzadas de aprendizaje automático, sino que también promueve la innovación en el manejo del bienestar animal, ofreciendo soluciones más precisas y eficientes que pueden ser implementadas directamente en entornos agrícolas reales para mejorar la gestión del rebaño y la salud animal.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- A partir de los resultados de la evaluación de los algoritmos, se demostró que las redes neuronales convolucionales, redes neuronales profundas y memoria a corto y largo plazo, debido a su alta precisión, recuperación y puntuaciones F1, así como a su excelente rendimiento AUC, siendo las mejores opciones para la detección del estrés de los bovinos. Esto resalta la importancia de utilizar técnicas avanzadas de aprendizaje automático para mejorar el bienestar animal mediante una detección temprana y precisa del estrés.
- El análisis de correspondencia factorial (ACF) ha demostrado ser una herramienta efectiva, para ayudar a identificar y calcular los pesos asociados con diferentes variables que influyen en el nivel de estrés en los bovinos. El AFC ayuda a entender las relaciones entre múltiples variables categóricas y su influencia en el estrés al disminuir la dimensionalidad de los datos.
- La Transformada Rápida de Fourier (FFT), ayudó a descomponer las series temporales del nivel de actividad permitiendo identificar los componentes de frecuencia correspondientes a los ritmos circadianos. Al transformar los datos de actividad en el dominio de la frecuencia, la FFT ayuda a aislar las frecuencias dominantes que determinan el ritmo circadiano diario. Facilitando la comparación entre los ritmos circadianos de los bovinos de manera individual y un ciclo circadiano promedio, ofreciendo así perspectivas cuantitativas sobre las desviaciones y posibles alteraciones del ritmo biológico.
- La distancia euclidiana ha permitido cuantificar la similitud entre los ritmos circadianos diarios individuales y el ciclo circadiano promedio. Esta medida ofrece una forma intuitiva y directa de evaluar en qué medida se desvía del patrón dado. Al comparar las diferencias en el espacio euclidiano, es fácil identificar anomalías en las actividades diarias que pueden estar asociadas a niveles de estrés.

- Utilizar el Índice de temperatura humedad (ITH) y Sensación Térmica (Wind Chill), ha permitido medir el estrés térmico sufrido por los bovinos teniendo en cuenta las condiciones ambientales, proporcionando medidas objetivas para adecuar las condiciones de manejo. El ITH mide el impacto combinado de la temperatura y la humedad, mientras que Wind Chill considera los efectos asociados a la humedad y velocidad del viento.
- Este estudio se enfocó en investigar cómo el clima y la actividad del ciclo circadiano influyen en el estrés de los bovinos. Empleando modelos de aprendizaje automático para detectar el estrés, mediante actividades básicas: comer, rumia y descanso. Los hallazgos de esta investigación son cruciales para desarrollar herramientas y técnicas eficientes que mejoren la gestión y el bienestar de los bovinos en entornos reales.

5.2. RECOMENDACIONES

- Durante el proceso de limpieza de datos, es fundamental registrar con precisión la duración de cada período para evitar problemas en el procesamiento de datos. Es fundamental no alterar, ni ajustar los valores de duración, estos valores deben mantener su precisión, garantizando un procesamiento preciso y sin errores de los datos.
- Este trabajo de investigación puede ser considerado como una base para futuros estudios en la identificación del estrés en bovinos mediante técnicas de aprendizaje automático. Los resultados obtenidos pueden utilizarse para la implementación de un sistema efectivo de monitoreo del bienestar animal, optimizando la productividad en la industria ganadera.
- Este estudio no solo permite una detección más precisa de niveles de estrés en bovinos, sino que fomenta el uso de técnicas de ML para un mejor control y manejo de los bovinos. La implementación de modelos de aprendizaje automático permite una supervisión continua y precisa del estado de los bovinos, lo que deriva en la identificación temprana del estrés o cualquier otro problema relacionado con su salud.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alux Nutrition. (2021, October 14). *5 factores de estrés que representan hasta el 15% de los costos totales de producción pecuaria* | *Nutrición animal*. <https://www.linkedin.com/pulse/5-factores-de-estr%C3%A9s-que-representan-hasta-el-15-los-costos/>
- Arias, R. A., Universidad Austral de Chile, Mader, T. L., & University of Nebraska at Lincoln. (2020). Efectos del clima sobre la producción bovina_ aspectos generales, índices de confort y medidas de mitigación _ Engormix. *Engormix*. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/01/que-es-la-sensacion-termica-y-como-afecta-al-cuerpo>
- Arrieta, E. (2021). *Método inductivo y deductivo*. Diferenciador. <https://www.diferenciador.com/diferencia-entre-metodo-inductivo-y-deductivo/>
- Arya, N. (2022, May 16). *Popular Machine Learning Algorithms*. KD Nuggets. <https://www.kdnuggets.com/2022/05/popular-machine-learning-algorithms.html>
- Ayala, J. (2020, February 10). *Reducción de dimensionalidad*. Reducción de Dimensionalidad. <https://rpubs.com/JairoAyala/574796>
- Becker, C. A., Aghalari, A., Marufuzzaman, M., & Stone, A. E. (2021). Predicting dairy cattle heat stress using machine learning techniques. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 501–524. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18653>
- BLASIO, A. L., CANO TORRES, R., & SANABRIA CERA, S. (2022, June 27). *Nombre de la Unidad de Aprendizaje: ETOLOGÍA Y BIENESTAR ANIMAL*. https://veterinaria.uaemex.mx/images/Documentos_veterinaria/Oferta_educativa/Licenciatura_veterinaria/Unidades_Aprendizaje/Tercer_periodo/ETOLOGIA_Y_BIENESTAR_ANIMAL/ETOL_Y_BIEN_ANI_MP.pdf
- BM Editores. (2024, April 10). *Tecnología y salud animal: innovaciones más destacadas de los últimos años*. BMEDITORES. <https://bmeditores.mx/ganaderia/tecnologia-y-salud-animal-innovaciones-mas-destacadas-de-los-ultimos-anos/>
- Bobadilla, P., & Huertas, S. (2022). *V Encuentro Internacional de Investigadores en Bienestar Animal. 14 y 15 de Noviembre de 2022 Montevideo - Uruguay*. Colibri - Conocimiento Libre Repositorio Institucional. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/35402>
- Botero Arango, L. (2020). *Introducción a la Zoorecnia* (Unisucre). Editorial Universidad de Sucre.

- Brouwers, S. P., Simmler, M., Savary, P., & Scriba, M. F. (2023). Towards a novel method for detecting atypical lying down and standing up behaviors in dairy cows using accelerometers and machine learning. *Smart Agricultural Technology*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100199>
- CEUPE. (2022, March 8). *Reconocimiento de patrones: qué es y cómo funciona*. CEUPE. <https://www.ceupe.com/blog/reconocimiento-de-patrones.html#:~:text=La%20actividad%20de%20identificar%20objetos,la%20ingnier%C3%ADa%2C%20matem%C3%A1ticas%20e%20inform%C3%A1tica.>
- Cimec. (2023, July 20). *La investigación descriptiva y sus características*. CIMEC. <https://www.cimec.es/investigacion-descriptiva-caracteristicas/>
- CONtexto, ganadero. (2023, May 9). *Constantes fisiológicas en bovinos: claves para mantener la salud del ganado*. CONtexto Ganadero. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/constantes-fisiologicas-en-bovinos-claves-para-mantener-la-salud-del-ganado>
- CONtexto Ganadero. (2023). Los diferentes tipos de estrés que pueden presentar los bovinos. *CONtexto Ganadero*. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/los-diferentes-tipos-de-estres-que-pueden-presentar-los-bovinos>
- Coppola, M. (2023, January 20). *Qué es la minería de datos: conceptos, técnicas y ejemplos*. HubSpot. <https://blog.hubspot.es/marketing/mineria-datos>
- Corporación Universidad de la Costa. (2020). *Psicobiología*. Corporación Universidad de la Costa. <https://hdl.handle.net/11323/6604>
- Correa-Calderón, A., Avendaño-Reyes, L., López-Baca, M. Á., & Macías-Cruz, U. (2022). Heat stress in dairy cattle with emphasis on milk production and feed and water intake habits. Review. In *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* (Vol. 13, Issue 2, pp. 488–509). INIFAP-CENID Parasitología Veterinaria. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V13I2.5832>
- Crabtree, M., & Nehme, A. (2024, April). *¿Qué es la ciencia de datos?* Datacamp. <https://www.datacamp.com/es/blog/what-is-data-science-the-definitive-guide>
- Dirección de Desarrollo Económico. (2020, November 12). *PROYECTO NRO. FIEDS-008-2019*. <https://municipiobolivar.gob.ec/images/PDF/2021/05/Proy-cadena-valor-lacteo.pdf>
- Dovetail Editorial Team. (2023, February 5). *What is a semi-structured interview?* Dovetail. <https://dovetail.com/research/semi-structured-interview/>
- El Moutaouakil, K., & Falih, N. (2024). A comparative study on time series data-based artificial intelligence approaches for classifying cattle feeding behavior. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 33(1), 324–332. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v33.i1.pp324-332>

- Enrique Rus, A. (2020, November 1). *Investigación exploratoria*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/investigacion-exploratoria.html>
- Fernández de Silva, M. del R. (2023). *LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA EDUCACIÓN: HACIA UN FUTURO Y APRENDIZAJE INTELIGENTE*. Escuela de Escritores.
- Fuentes, S., Gonzalez Viejo, C., Tongson, E., & Dunshea, F. R. (2022). The livestock farming digital transformation: implementation of new and emerging technologies using artificial intelligence. *Animal Health Research Reviews*, 23(1), 59–71. <https://doi.org/10.1017/S1466252321000177>
- Gabriela, M., Trujillo, S., & Ángel Pérez Hernández, J. (2021). Metodología CRISP-DM en la gestión de proyecto de Data Mining. Caso enfermedades dermatológicas. In *International Conference on Project Management*.
- García, C. (2020). I Boletín+Eficiencia+procesos+en+ganadería+de+leche.ABRIL-21. GANADERÍA DE PRECISIÓN. <https://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/da0189be-64a3-4033-be59-de6696584702/Boleti%CC%81n+Eficiencia+procesos+en+ganaderi%CC%81a+de+leche.ABRIL-21.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nzS2vjG>
- GIBBENS, S. (2024, January 24). *¿Qué es la sensación térmica y cómo afecta al cuerpo?*
- Jefo Nutrition Inc. (2021, June 22). *Previniendo el estrés por calor en vacas lecheras Nutrición intestinal de precisión - J. Jefo*. <https://jefo.ca/es/previniendo-el-estres-por-calor-en-vacas-lecheras-nutricion-intestinal-de-precision/>
- La Manna, A., Agr Alejandro La Manna, I., Maria Eugenia Canozzi, D. A., Biol Guadalupe Tiscornia, L., Agr Carlos Otaño, I., & Agr Joaquín Lapetina, I. (2020). *Producción Animal Revista INIA-Nº 63 Producción Animal PREVISIÓN DE ESTRÉS cALÓRICO EN bOVINOS*.
- Lardy, R., Ruin, Q., & Veissier, I. (2023). Discriminating pathological, reproductive or stress conditions in cows using machine learning on sensor-based activity data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107556>
- Lascano, S., Balarezo, L., & Ribera, L. (2024). *Revisión Sistemática de Aplicación de Sensores Inteligentes y Técnicas de Machine Learning para la Detección y Gestión del Estrés en Ganado Bovino*.
- Lascano, S., Ribera, L., & Balarezo, L. (2024). *Machine Learning para la ganadería de precisión*.
- Leandro. (2023, September 14). *Identificación animal: Beneficios y herramientas disponibles*. Universo de La Salud Animal. <https://www.universodelasaludanimal.com/ganaderia/identificacion-animal-beneficios-y-herramientas-disponibles/>

- Llamas, J. (2021, February 1). *Ciencias de la computación*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/ciencias-de-la-computacion.html>
- Manteca, X. M. E. ; D. C. de E. sobre B. de A. de; F. de V. de la U. A. (2021, December 8). *¿Qué es el Bienestar Animal?* Engormix.
- Miller, G. A., Mitchell, M., Barker, Z. E., Giebel, K., Codling, E. A., Amory, J. R., Michie, C., Davison, C., Tachtatzis, C., Andonovic, I., & Duthie, C. A. (2020). Using animal-mounted sensor technology and machine learning to predict time-to-calving in beef and dairy cows. *Animal*, 14(6), 1304–1312. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003380>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020, March 19). *Carchi se enfoca en el fortalecimiento agropecuario y productivo*. <https://www.agricultura.gob.ec/carchi-se-enfoca-en-el-fortalecimiento-agropecuario-y-productivo/>
- Moya Rodríguez, C. I. (2020). *EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL SOBRE LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE LECHE EN VACAS EN EL PÁRAMO ANDINO SOBRE LA CALIDAD Y*.
- Navarro, A., Galvis Aro, J. J., Ramirez, J. D., & Bayona Sarmiento, J. sebastian. (2024, June). *IA APLICADO EN GANADERÍA*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/381227428_IA_APLICADO_EN_GANADERIA
- Nedap Livestock Management. (n.d.). *Sistema de vigilancia para vacas COWcontrol™*. AgriEXPO. Retrieved July 2, 2024, from <https://www.agriexpo.online/es/prod/nedap-livestock-management/product-172197-63508.html>
- NOAA. (2024, June 17). *Wind Chill*. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.noaa.gov/jetstream/synoptic/wind-chill>
- Ortega, C. (2023a). *Análisis comparativo: Qué es y cómo se realiza*. Questionpro. <https://www.questionpro.com/blog/es/analisis-comparativo/>
- Ortega, C. (2023b, February 23). *Investigación mixta. Qué es y tipos que existen*. QuestioPro.
- Pacheco, V. M., de Sousa, R. V., Rodrigues, A. V. da S., Sardinha, E. J. de S., & Martello, L. S. (2020). Thermal imaging combined with predictive machine learning based model for the development of thermal stress level classifiers. *Livestock Science*.
- PALMA, M. (2023, May 11). *Factores que provocan estrés en las vacas*. Molinos Champion S.A.S. <https://www.molinoschampion.com/factores-que-provocan-estres-en-las-vacas/>
- Pedraza Caro, J. D. (2023). *La Inteligencia Artificial en la sociedad: Explorando su Impacto Actual y los Desafíos Futuros*. Universidad Politécnica de Madrid.

- Pérez Luis Ricardo. (2024). B Estrés calórico en ganado lechero | sus componentes y sus efectos. *Ganaderia.Com* .
- Pineda Pertuz, C. M. (2022). *Aprende automático y profundo en python* (Ediciones de la U).
- Pinillos, Dr., & García, R. (2022). V ENCUESTO INTERNACIONAL DE INVESTIGADORES EN BIENESTAR ANIMAL. https://bienestaranimal.org.uy/wp-content/uploads/2022/12/Libro-de-Resumenes_ISBN.pdf
- Polansek, T. (2023, August 7). *El calor y la humedad matan a cientos de cabezas de ganado en Estados Unidos durante el mes más caluroso del mundo*. Reuters.
- Ray, S. (2024). Top 10 Machine Learning Algorithms to Use in 2024. *Analytics Vidhya*. <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2017/09/common-machine-learning-algorithms/#h-9-dimensionality-reduction-algorithms>
- Rhoton, S. (2024, July 2). *Investigación de campo*". *Significados.Com*. <https://www.significados.com/investigacion-de-campo/>
- Robotics. (2021, February 15). *Tipos de aprendizaje en la Inteligencia Artificial*. EDS ROBOTICS. <https://www.edsrobotics.com/blog/tipos-aprendizaje-inteligencia-artificial/#:~:text=el%20ejercicio%20pr%C3%A1ctico,-,%C2%BFQu%C3%A9%20tipos%20de%20aprendizaje%20existen%20en%20el%20C3%A1mbito%20de%20la,y%20el%20aprendizaje%20no%20supervisado.>
- Rodrigues, A. V. da S. (2022). *Avaliação não invasiva do estresse térmico de bovinos: uma abordagem baseada em aprendizado de máquina e termografia de infravermelho* [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.74.2022.tde-29072022-113058>
- Rogério. (2023, October 24). *Manejo de bovinos: aprenda más sobre su comportamiento y características - Certified Humane Latino | Bienestar animal*. <https://certifiedhumanelatino.org/manejo-de-bovinos-aprenda-mas-sobre-su-comportamiento-y-caracteristicas/>
- Rouse, M. (2024, March 21). *Ingeniería de requisitos*. Techopedia. <https://www.techopedia.com/es/definicion/ingenieria-requisitos>
- SONDA. (2022, March 3). *SONDA lanza "Vaca Conectada", solución que realiza la trazabilidad de la leche*. Sonda. <https://www.sonda.com/detalle-noticia/2022/05/03/sonda-lanza-vaca-conectada-soluci%C3%B3n-que-realiza-la-trazabilidad-de-la-leche>
- Tiao, S., Senior Manager, AI & Analytics, & Oracle. (2024, March 11). *What Is Big Data?* OCL. <https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/>
- Toledo, I., & Dahl, G. (2022, December 1). *LA CLAVE PARA MANEJAR EL ESTRÉS TÉRMICO ES ENTENDER CUÁNDO EL ESTRÉS TÉRMICO COMIENZA! ¿QUÉ ES EL ESTRÉS POR CALOR?* Askifas Power by EDIS. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AN358>

Wagner, N., Mialon, M. M., Sloth, K. H., Lardy, R., Ledoux, D., Silberberg, M., de Boyer des Roches, A., & Veissier, I. (2021). Detection of changes in the circadian rhythm of cattle in relation to disease, stress, and reproductive events. *Methods*, 186, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2020.09.003>

Weck, W., & Salazar Solís, L. A. (2020). *Inteligencia artificial en Latinoamérica*.

VII. ANEXOS

Anexos 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE COMPUTACIÓN

ACTA

DE LA SUSTENTACIÓN DEL PLAN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

ESTUDIANTE:	Andrade Taramuel Brayan Steven	CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401824883
NIVEL/PARALELO:	0	PERIODO ACADÉMICO:	2024A
EXPERTO 1:	MSC. Jeffrey Alex Naranjo Cedeño	EXPERTO 2:	MSC. Samuel Benjamín Lascana Rivera
EXPERTO 3:	MSC. Georgina Guadalupe Arcos Ponce		
TEMA DEL TIC:	Técnicas de aprendizaje automático para la identificación del nivel de estrés en bovinos		

No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	TEMA	1.40	
2	PROBLEMA	1.40	
3	OBJETIVOS	1.30	Reestructurar el objetivo específico número 1
4	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	0.93	
5	METODOLOGÍA	0.70	
6	EXPOSICIÓN	0.63	
7	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	2.40	Revisión general del documento, ortografía, normas APA

Obteniendo una nota de: **8,76** Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los estudiantes acatar el siguiente artículo:

Art. 25 De las etapas para aprobación del Plan del TIC. - Literal d) De ser aprobado el Plan con observaciones el estudiante tendrá el término de 15 días para acoger las observaciones del grupo de expertos y presentar el documento reformulado al Coordinador de la UIC.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **miércoles, 17 de julio de 2024**


MSC. Jeffrey Alex Naranjo Cedeño
EXPERTO 1:


MSC. Georgina Guadalupe Arcos Ponce
EXPERTO 3:


MSC. Samuel Benjamín Lascana Rivera
EXPERTO 2:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE COMPUTACIÓN

ACTA

DE LA SUSTENTACIÓN DEL PLAN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

ESTUDIANTE:	Tulcán Cortez Erika Johanna	CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401670476
NIVEL/PARALELO:	0	PERIODO ACADÉMICO:	2024A
EXPERTO 1:	MSC. Jeffrey Alex Naranjo Cedeño	EXPERTO 2:	MSC. Samuel Benjamin Lascano Rivera
EXPERTO 3:	MSC. Georgina Guadalupe Arcos Ponce		
TEMA DEL TIC:	"Técnicas de aprendizaje automático para la identificación del nivel de estrés en bovinos"		

No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	TEMA	1.40	
2	PROBLEMA	1.40	
3	OBJETIVOS	1.30	Reestructurar el objetivo específico número 1
4	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	0.93	
5	METODOLOGÍA	0.70	
6	EXPOSICIÓN	0.63	
7	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	2.40	Revisión general del documento, ortografía, normas APA

Obteniendo una nota de: **8,76** Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los estudiantes acatar el siguiente artículo:

Art. 25 De las etapas para aprobación del Plan del TIC. - Literal d) De ser aprobado el Plan con observaciones el estudiante tendrá el término de 15 días para acoger las observaciones del grupo de expertos y presentar el documento reformulado al Coordinador de la UIC.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **miércoles, 17 de julio de 2024**


MSC. Jeffrey Alex Naranjo Cedeño
EXPERTO 1:


MSC. Georgina Guadalupe Arcos Ponce
EXPERTO 3:


MSC. Samuel Benjamin Lascano Rivera
EXPERTO 2:

Anexos 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN AND NATIVE LANGUAGE CENTER

Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o Investigación.

Autor: Andrade Taramuel Brayan Stiven y Tulcán Cortez Erika Johanna

Fecha de recepción del abstract: 18 de julio de 2024

Fecha de entrega del informe: 18 de julio de 2024

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según los rubrics de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9, por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



EDISON BOANERGES
PENAFIEL ARCOS

Ing. Edison Peñañiel Arcos MSc
Coordinador del CIDEN

Anexos 3. Entrevistas a experto en agropecuaria 1

ENTREVISTA AL DOCTOR LUIS BALAREZO URRESTA DOCENTE DE LA CARRERA DE AGROPECUARIA EL 05 DE ENERO DEL 2024 A LAS 17:15 HASTA 17:31

1. ¿Cuál es la importancia de abordar el estrés en los bovinos en la industria agropecuaria?

El estrés es un factor muy importante en los bovinos ya que cualquier cambio en su estado de confort o cambio en su rutina diaria produce estrés en el animal, es por eso que si llueve mucho, demasiado calor, se le mueve de un lugar a otra después de ordeño o para realizarle un chequeo ginecológico, desparasitación les produce estrés, por ello se considera estrés todo factor o cambio que puede generar modificaciones en su organismo, es importante destacar que al igual que en las personas existen animales que pueden manejar el estrés y otros no, cuando les afecta demuestran un cambio en su comportamiento de acuerdo al nivel de estrés que se encuentren sufriendo.

2. ¿Cuáles son los principales factores que pueden causar estrés en los bovinos?

Los principales factores que pueden producir estrés en los animales puede ser abundante lluvia, sol excesivo, falta de alimentación, se debe recordar que en los animales también existen jerarquías en la cual existen los líderes y las que se dejan llevar por estos líderes, además existe relaciones de amistad como de enemistad un ejemplo claro es cuando ingresa un nuevo miembro al corral o al rebaño el cual en un inicio no será aceptado por los demás y lo van a pegar, en este caso ya se está generando estrés en el animal porque el rebaño no lo acepta como miembro del grupo

3. ¿Qué impacto tiene el estrés en la salud y el bienestar de los bovinos?

El estrés se puede representar como baja de producción, alejamiento del grupo y eso al igual que otros factores afecta en el factor reproductivo, provocando que no se perciba el celo provocando un celo silencioso por lo que el sistema inmune no lo percibe a causa de que este se deprime y eso también provoca afecciones en la salud.

4. ¿Cuáles son los signos o indicadores comunes de estrés en los bovinos?

Los indicadores comunes que se puede identificar sería el comportamiento, algunas se alejan otras son agresivas, cada reacción es diferente en las vacas, el

consumo de alimento también sería porque deja de alimentarse o lo contrario ingiere demasiada alimentación.

5. ¿Cuáles son las consecuencias económicas del estrés en los bovinos para los productores agropecuarios?

Las principales consecuencias económicas que se generan en el estrés como se mencionó anteriormente son la disminución en la producción láctea, la calidad de la carne ya que son los principales campos de disminución si el animal disminuye la producción eso representa menos litros de venta en la industria lechera, así como si la salud del animal se ve afectada a causa del estrés se presentara una calidad de carne no apta para la venta.

6. ¿Cómo se puede evaluar o medir el nivel de estrés en los bovinos?

En el área agropecuaria se puede identificar a través de la medición del cortisol, ya que cuando hay estrés se produce una secreción de hormonas. Cambios en las horas de descanso también es un indicador de que esta estresada, que no exista rumia también es un indicador de que algo le está sucediendo a la vaca. El ciclo de la vaca se divide en 3 periodos que es: 8 horas de comer, 8 horas de rumia y 8 horas de dormir

7. ¿Cuáles son las tendencias o avances más recientes en el manejo del estrés en los bovinos en la industria agropecuaria?

Una figura reconocida por los avances más recientes en la industria agropecuaria es del Dr. Daniel Cartes el cual ha desarrollado algunos artículos científicos en base a la investigación bovina uno de los últimos artículos publicados es un artículo que estudia la sombra en el animal por ejemplo se realizó un experimento con vacas que van a parir a la una se la coloca en un lugar de sombra y a otra en un lugar a campo abierto, y ellos observaron que un grupo de vacas decidió parir en la sombra, en donde ella se sentía bien. Otros estudios revelan que en los lugares de ordeño a las vacas les colocan musica la vaca se siente más tranquila todo esto está basado en el bienestar animal.

Anexos 4. Entrevistas a experto en agropecuaria 2

ENTREVISTA AL DOCTOR RONALDO MARTIN CAMPOS DOCENTE DE LA CARRERA DE AGROPECUARIA EL 05 DE ENERO DEL 2024 A LAS 17:50 HASTA 18:04

- **¿Cuál es la importancia de abordar el estrés en los bovinos en la industria agropecuaria?**

El estrés es un cambio fisiológico que se produce en el animal cuando se encuentra sometido a estímulos negativos, es todo cambio negativo que se produzca en el animal es identificado como estrés.

1. **¿Cuáles son los principales factores que pueden causar estrés en los bovinos?**

Los factores de estrés que pueden darse es el calor, el mal manejo, ausencia de alimentación, enfermedades son los principales factores que provocan que estrés en los bovinos.

2. **¿Qué impacto tiene el estrés en la salud y el bienestar de los bovinos?**

El manejo adecuado y la aplicación práctica de medicamentos pueden ser clave para mitigar los efectos del estrés en la producción animal. Es fundamental asegurar que los tratamientos sean administrados de manera oportuna y precisa, especialmente en situaciones de estrés que pueden afectar la eficacia del sistema inmunológico. Además, es importante considerar las técnicas de manejo que reduzcan el estrés en los animales, como proporcionar un entorno tranquilo y adecuado, lo que contribuirá a maximizar la efectividad de los medicamentos aplicados.

3. **¿Cuáles son los signos o indicadores comunes de estrés en los bovinos?**

Estos indicadores podrían ser por ejemplo que los animales dividen su día en diferentes periodos en este caso que el animal come por menos eso ya son signos de estrés ya que lo normal es que el animal debe realizar 8 horas en cada uno de sus periodos como es la comida, descanso y rumia, es necesario que para comprender esto se debe entender mucho del comportamiento animal. Afecciones en la salud como la presencia de dolor, cojeras, mastitis, son las principales causas de que el animal se encuentra en un ciclo de estrés.

4. **¿Cuáles son las consecuencias económicas del estrés en los bovinos para los productores agropecuarios?**

Las principales consecuencias económicas que se generan en el estrés como se mencionó anteriormente son la disminución en la producción láctea, la calidad de la carne ya que son los principales campos de disminución si el animal

disminuye la producción eso representa menos litros de venta en la industria lechera, así como si la salud del animal se ve afectada a causa del estrés se presentara una calidad de carne no apta para la venta.

5. ¿Cómo se puede evaluar o medir el nivel de estrés en los bovinos?

En la industria agropecuaria se puede medir el estrés bovino midiendo el cortisol en animal lo que se determina a través de los niveles del mismo, ya que si este se encuentra muy elevado son signos de el que animal esta estresado, esto se puede realizar con pruebas de laboratorio.

6. ¿Cuáles son las tendencias o avances más recientes en el manejo del estrés en los bovinos en la industria agropecuaria?

En la actualidad se está prestando más atención al bienestar animal es decir las condiciones tanto climáticas como ambientales que le rodean y la forma en que el animal se adapta a este medio como por ejemplo si el animal tiene agua, sal, comida, un espacio donde dormir eso es un ambiente en el que él se siente cómodo y seguro. Es por lo que el tener conocimiento sobre el bienestar animal produce tomar conciencia y medidas para mejorar este ambiente. Cabe recalcar que el animal nunca va a estar extenso de estrés, pero el identificar un nivel de estrés crónico es lo que permite tomar medidas para disminuir el estrés en los bovinos.

Anexos 5. Entrevistas a experto en agropecuaria 3

ENTREVISTA AL MSC. LEONEL AVENDAÑO REYES EXPERTO EN FISIOLÓGÍA ANIMAL EL 19 DE ABRIL DEL 2024 A LAS 17:00 HASTA 17:40

1. ¿Cuál es la importancia de abordar el estrés en los bovinos en la industria agropecuaria?

De acuerdo con la zona en que se realizan los diferentes estudios toma gran importancia el nivel de estrés al que se encuentran expuestos los animales en este caso en México se produce el estrés por calor debido a las altas temperaturas que se encuentra expuesta esta zona en un periodo de 6 meses, el estrés es más difícil para los animales que se encuentran expuestos a estas temperaturas en el corral y en las zonas de pastoreo.

Actualmente adquiere una importancia muy importante ya que se está enfocando en el bienestar animal, en donde el estudio principal se basa en el confort animal, lo cual es muy complicado en las zonas calientes y áridas. Por ejemplo, en los bovinos lecheros se trata de implementar un sistema de enfriamiento durante las horas más cálidas permitiendo el bienestar de los animales para que la producción lechera no se encuentre afectada.

2. ¿Cuáles son los principales factores que pueden causar estrés en los bovinos?

Los factores pueden variar de acuerdo con la raza de los bovinos, si son animales de agostadero o animales en corral, por otra parte, en los bovinos de carne si se recibe animales de todos los estados de México para la producción de becerros. Los factores que más influyen en el estrés de los bovinos es el clima ya que de acuerdo con este se producen los diferentes cambios de tanto para realizar la producción ya sea de carne o de leche, otro factor secundario sería la comida que ingieren los animales y finalmente el manejo, pues estos son todos los factores que más influencia tienen en los animales. Los bovinos es uno de los animales que con mayor facilidad se estresa además que tiene la gran capacidad de adaptarse a cambios como son rutinas de manejo y actividades que cuando estas sufren pequeños cambios es en ese momento donde se presenta el estrés.

3. ¿Qué impacto tiene el estrés en la salud y el bienestar de los bovinos?

El estrés crónico puede debilitar el sistema inmunológico, aumentar la susceptibilidad a enfermedades y reducir la eficiencia de producción, como la disminución en la producción de leche o el crecimiento. Además, puede llevar a comportamientos agresivos o retraídos, afectando la interacción social y la reproducción. Factores como el transporte, el manejo inadecuado, el hacinamiento y cambios en el entorno pueden desencadenar estrés en los bovinos, siendo crucial implementar prácticas de manejo que minimicen estas tensiones.

4. ¿Cuáles son los signos o indicadores comunes de estrés en los bovinos?

Los signos comunes de estrés en bovinos incluyen cambios en la frecuencia respiratoria, que se puede medir observando los movimientos intercostales, y variaciones en la temperatura corporal, que se puede evaluar de forma invasiva con un termómetro rectal o de manera no invasiva con termografía infrarroja. Además, pueden presentarse alteraciones en los niveles de glucosa, triglicéridos, proteínas y hormonas como el cortisol, así como en el metabolismo y los electrolitos. Estos indicadores ayudan a detectar el estrés en los bovinos y a tomar medidas para mitigarlo.

5. ¿Cómo se puede evaluar o medir el nivel de estrés en los bovinos?

En la fisiología se determina que el animal reacciona con algunas acciones fisiológicas ante el estrés que pueden ser medidas de acuerdo al equipo que se tenga a disposición un ejemplo es medir la frecuencia respiratoria que lo hacen en los corrales directamente tomando un cronometro se mide los movimientos intercostales del animal a una distancia prudente del animal de manera que no se cause ninguna alteración en el entorno del bovino. La temperatura corporal se mide con una técnica invasiva en la que se mide la temperatura con un termómetro por el recto y se puede asociar con que es una medida muy exacta, otra técnica es la medición de temperatura infrarroja en la que se toma una foto y al pasarlo a un software se puede obtener la temperatura de acuerdo a la zona en que se establezca el cursor en este caso las fotografías deben de ser tomadas de diferentes ángulos para de esta manera obtener la temperatura precisa de diferentes zonas para medir las temperatura de la frente, los ojos, de esta manera

se pueden generar más de veinte variables solo con las fotografías otras medidas pueden ser la glucosa, triglicéridos, proteínas, hormonas como el cortisol, el metabolismo, hormonas tiroideas, hormonas de reproducción como los estrógenos, progesterona, electrolitos para visualizar la sudoración, entre otras.

El índice de temperatura humedad es muy importante que se lo aborde en este tipo de experimentación del estrés en bovinos, pero se debe tomar en cuenta que los datos meteorológicos deben de estar asociados lo más cerca posible de sujeto experimental para una mejor precisión, es necesario tomar en cuenta que el ITH a estado variando por cuestiones del cambio climático ya que generalmente se decía que a un nivel de grados de ITH se produce condiciones de estrés para un vaca lechera a actualmente se está cambiando ese dato a 68 porque el animal se ha modificado genéticamente a través de los años, ahora que si se tiene conocimiento de algunas variables más como la radiación solar, velocidad del viento existen algunas fórmulas para que se obtenga un índice más preciso.

Anexos 6. Constancia de juicio de experto 1.



CONSTANCIA DE JUICIO DE EXPERTO

Tulcán, 9 de julio 2024

Certificado

Por medio de la presente, me permito certificar que he revisado y validado los datos recolectados y procesados por los estudiantes **ANDRADE TARAMUEL BRAYAN STIVEN** con CI. **0401824883** y **TULCÁN CORTEZ ERIKA JOHANNA** con CI. **0401670476**, quienes realizan un trabajo de integración curricular titulado "Técnicas de aprendizaje automático para la identificación del nivel de estrés en bovinos".

En mi calidad de experto en el área agropecuaria, he llevado a cabo un análisis exhaustivo de los mismos, asegurando que cumplen con los estándares y criterios establecidos por la teoría y las prácticas recomendadas en nuestro campo.

PHD. Luis Balarezo Dr.

<https://orcid.org/0000-0001-5546-1259>

DOCENTE DE LA CARRERA DE AGROPECUARIA DE LA "UNIVERSIDAD
POLITECNICA ESTATAL DEL CARCHI"

Anexos 7. Constancia de juicio de experto 2.



CONSTANCIA DE JUICIO DE EXPERTO

Tulcán, 8 de julio 2024

Certificado

Por medio de la presente, me permito certificar que he revisado y validado los datos recolectados y procesados por los estudiantes **ANDRADE TARAMUEL BRAYAN STIVEN** con CI. **0401824883** y **TULCÁN CORTEZ ERIKA JOHANNA** con CI. **0401670476**, quienes realizan un trabajo de integración curricular titulado "Técnicas de aprendizaje automático para la identificación del nivel de estrés en bovinos".

En mi calidad de experto veterinario en el área agropecuaria, he llevado a cabo un análisis exhaustivo de los mismos, asegurando que cumplen con los estándares y criterios establecidos por la teoría y las prácticas recomendadas en nuestro campo.

PHD. Hernán Benavides Dr.

<https://orcid.org/0000-0001-9236-3076>



DIRECTOR DE LA CARRERA DE AGROPECUARIA DE LA "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI"