



Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Campus Querétaro

TC3007C

Inteligencia artificial avanzada para la ciencia de datos II

Reporte Final Ocupación de Espacio Bovino (Técnico)

Autores:

A01368818 Joel Sánchez Olvera

A01661090 Juan Pablo Cabrera Quiroga

A01704076 Adrián Galván Díaz

A01708634 Carlos Eduardo Velasco Elenes

A01709522 Arturo Cristián Díaz López

Fecha:

25 de noviembre del 2024

Índice

Índice.....	1
Abstracto.....	1
Introducción.....	2
Tecnologías Utilizadas.....	2
Modelo de Detección de Vacas: YOLOv5.....	2
Modelo de Clasificación de Posturas: CNN en PyTorch.....	3
Modelado.....	4
Preprocesamiento de Datos.....	5
Entrenamiento de los Modelos.....	5
Integración del Modelo Compuesto.....	6
Resultados y Hallazgos Principales.....	6
1. Resultados del Modelo de Detección (YOLOv5).....	6
2. Resultados del Modelo de Clasificación (CNN).....	7
3. Resultados del Modelo Compuesto.....	7
Conclusiones.....	12
Recomendaciones.....	12

Abstracto

En colaboración con el Centro de Agricultura Experimental y Tecnología (CAETEC) del Tecnológico de Monterrey, este proyecto tiene como objetivo optimizar la gestión de los espacios de descanso del ganado bovino mediante tecnologías avanzadas de inteligencia artificial. Se desarrolló un modelo compuesto basado en [YOLOv5](#), un algoritmo de detección de objetos en tiempo real, y redes neuronales convolucionales (CNN) implementadas en [PyTorch](#), una biblioteca de aprendizaje profundo. El sistema permite identificar vacas en imágenes aéreas y clasificar su postura (acostada o parada) con métricas destacadas como una precisión de 98.7% en detección, 98.6% en clasificación, un F1-Score de 97.8% y un mAP@0.5 de 97.5%. Detalles de estos resultados se encuentran en las secciones **Modelado** y **Resultados y Hallazgos Principales**.

La solución analiza grandes volúmenes de datos visuales para identificar patrones de ocupación y comportamiento. Estos hallazgos apoyan la toma de decisiones informadas para mejorar la eficiencia operativa del rancho, destacando el impacto positivo de la inteligencia artificial en la gestión sostenible de la producción ganadera.

Introducción

El Centro de Agricultura Experimental y Tecnología (CAETEC), una iniciativa del Tecnológico de Monterrey Campus Querétaro, ha sido pionero en la integración de tecnologías avanzadas de agricultura de precisión e inteligencia artificial para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia de la producción agrícola ganadera. Este proyecto se centra en analizar y mejorar la ocupación de los espacios de descanso del ganado bovino, un aspecto crítico para maximizar el bienestar animal y, en consecuencia, aumentar la producción de leche.

Los periodos prolongados de descanso son esenciales para las vacas, ya que durante estos momentos se lleva a cabo el proceso de rumia, una actividad directamente relacionada con la calidad y cantidad de leche producida. Por ello, identificar y analizar los patrones de ocupación en áreas de descanso se vuelve crucial para mejorar el rendimiento general del rancho. En este proyecto desarrollamos un sistema compuesto para la detección y clasificación precisa de vacas en imágenes desde una perspectiva superior, utilizando dos tecnologías complementarias:

- **YOLOv5**: Un modelo de detección de objetos que identifica la ubicación de las vacas en imágenes aéreas.
- **CNN en PyTorch**: Un clasificador que determina la postura de las vacas (acostada o parada), proporcionando información valiosa sobre su actividad.

Este reporte describe las tecnologías utilizadas, el proceso de modelado y ajuste de los sistemas, los resultados obtenidos, y los hallazgos derivados de su implementación. Para un análisis más detallado de los modelos y las métricas alcanzadas, se recomienda consultar las secciones **Modelado** y **Resultados**.

Tecnologías Utilizadas

El desarrollo de este proyecto requirió la implementación de tecnologías avanzadas de inteligencia artificial y aprendizaje profundo. A continuación, se detallan las herramientas utilizadas en los dos componentes principales de la solución: el modelo de detección y el modelo de clasificación.

Modelo de Detección de Vacas: YOLOv5

YOLOv5 (You Only Look Once, versión 5) fue la herramienta seleccionada para la detección de vacas en imágenes, debido a su capacidad de procesar datos en tiempo real y su alta precisión. Este modelo está diseñado para tareas de detección de objetos y fue adaptado específicamente al conjunto de datos del rancho CAETEC mediante técnicas de fine-tuning.

Las características clave del modelo incluyen:

- **Precisión y rapidez**: YOLOv5 combina una precisión superior al 97% con tiempos de procesamiento menores a 5000 ms por imagen, lo que es crucial

para grandes volúmenes de datos.

- **Eficiencia de recursos:** Su arquitectura optimizada permite su ejecución en GPUs de capacidad moderada, reduciendo los costos de hardware.
- **Transferencia de aprendizaje:** Se utilizó un modelo pre-entrenado y se ajustó al dataset específico del proyecto, permitiendo un entrenamiento eficiente y rápido.
- **Precisión:** Evalúa la proporción de detecciones correctas sobre el total de detecciones realizadas, reflejando la exactitud del modelo al identificar objetos.
- **Recall:** Mide la capacidad del modelo para detectar todos los objetos presentes en una imagen, garantizando que no se omitan vacas en el análisis.
- **mAP@0.5:** (*Mean Average Precision*) Es una métrica que combina precisión y recall en un rango de confianza, con un enfoque en qué tan bien el modelo puede detectar objetos con una precisión consistente.

Modelo de Clasificación de Posturas: CNN en PyTorch

El modelo de clasificación fue desarrollado utilizando redes neuronales convolucionales ([CNN](#)) implementadas en PyTorch. Este componente clasifica cada vaca detectada en una de las dos categorías: "acostada" o "parada". Fue diseñado específicamente para manejar imágenes tomadas desde un ángulo superior, considerando las condiciones de iluminación y contraste variables.

Principales características técnicas:

- **Adaptación a datos específicos:** La arquitectura de la CNN fue personalizada para maximizar la precisión en el contexto del rancho.
- **Data Augmentation:** Se implementaron transformaciones como rotaciones, ajustes de brillo y contraste, y volteos horizontales para incrementar la robustez del modelo.

Ambos modelos trabajan de manera integrada, generando resultados precisos y confiables que contribuyen a los objetivos del proyecto.

Durante el desarrollo y análisis del proyecto no solo usamos tecnologías como YOLOv5 y CNN en PyTorch, aunque el resultado de la base de datos es exportable a diversos formatos, utilizamos **Tableau** para generar gráficas que representan y nos permiten visualizar patrones clave en la ocupación y el comportamiento del ganado. Esta integración permitió una presentación clara y profesional de los hallazgos, facilitando su interpretación y uso práctico por los administradores del rancho.

Modelado

El desarrollo del sistema compuesto para la detección y clasificación de vacas siguió una implementación técnica rigurosa basada en la metodología [CRISP-DM \(Cross-Industry Standard Process for Data Mining\)](#). Este enfoque permitió estructurar y guiar el proyecto a través de seis etapas clave:

1. Comprensión del Negocio

Se definió como objetivo principal determinar la ocupación de los espacios destinados al descanso de las vacas en el rancho, identificando la población de ganado en cada zona y evaluando qué áreas están ocupando la mayor parte del tiempo.

2. Comprensión de los Datos

Las imágenes recopiladas en el rancho CAETEC se analizaron para identificar sus características clave. Esto incluyó:

- Variaciones de iluminación y contraste.
- Presencia de elementos adicionales como personas o aves.

3. Preparación de los Datos

Se realizaron técnicas de preprocesamiento para garantizar la calidad y consistencia de los datos:

- **Etiquetado manual** de vacas con *bounding boxes* y clasificación por postura.
- **Redimensionamiento:** Ajuste de las imágenes a las dimensiones requeridas por los modelos (1920x1920 píxeles para YOLOv5 y 224x224 píxeles para la CNN).
- **Aumento de Datos (*Data Augmentation*):** Rotaciones, ajustes de brillo y contraste para mejorar la robustez del modelo.
- **Modelado y Ajustes**

El sistema compuesto incluyó dos modelos principales, que fueron ajustados iterativamente, priorizando la optimización de métricas clave:

- Modelo Bounding Box:
- Modelo Clasificador:
 - i. **Precisión:** Asegura que las posturas identificadas por el modelo correspondan correctamente.
 - ii. **F1-Score:** Equilibra precisión y recall, proporcionando una visión más completa del rendimiento general del modelo.
- Ambos modelos como precisión y recall.
- **Evaluación del Modelo**

Se evaluaron los modelos individualmente y como sistema compuesto, utilizando las métricas mencionadas anteriormente como:
- **Despliegue**

Los resultados del sistema se integraron con herramientas de visualización como [Tableau](#) para analizar patrones de comportamiento y ocupación, facilitando la

interpretación de los datos por los administradores del rancho.

Preprocesamiento de Datos

1. Adquisición de Datos: Las imágenes aéreas de las áreas de descanso fueron capturadas en el rancho CAETEC utilizando cámaras posicionadas en el techo de los corrales. Estas imágenes abarcan distintas horas del día para analizar el comportamiento diario de las vacas.

2. Anotación Manual: Se realizó una anotación manual para etiquetar las vacas detectadas en las imágenes con *bounding boxes*. Cada vaca fue clasificada según su postura ("parada" o "acostada"), asegurando un conjunto de datos preciso y balanceado.

3. Aumento de Datos : Para mejorar la robustez y la capacidad de generalización de los modelos, se aplicaron técnicas de aumento de datos, como rotaciones, ajustes de brillo y contraste, y volteos horizontales.

4. Normalización y Redimensionamiento: Las imágenes fueron normalizadas escalando los valores de los píxeles al rango $[0,1]$ y redimensionadas:

- **Modelo YOLOv5 (Bounding Box):** 1920x1920 píxeles.
- **Modelo CNN (Clasificador):** 224x224 píxeles.

5. División del Conjunto de Datos:

El conjunto de datos fue dividido en tres subconjuntos:

- Entrenamiento (80%).
- Validación (10%).
- Prueba (10%).

Entrenamiento de los Modelos

Modelo de Detección: YOLOv5 El modelo YOLOv5 fue entrenado para detectar vacas en las imágenes aéreas:

- Se utilizó un modelo pre-entrenado como base, adaptado al conjunto de datos específico mediante *fine-tuning*.
- **Configuración de entrenamiento:**
 - **Tasa de aprendizaje inicial:** 0.01.
 - **Épocas:** 25.
 - **Métricas resultantes:** mAP@0.5: 97.5%, mAP@0.5:0.95: 80%.

Modelo de Clasificación de Posturas: CNN El modelo CNN, desarrollado en PyTorch, fue diseñado para clasificar la postura de las vacas:

- Arquitectura de una red neuronal convolucional (CNN) optimizada para

imágenes recortadas desde las *bounding boxes* generadas por YOLOv5.

- **Configuración de entrenamiento:**
 - **Tasa de aprendizaje:** 0.001.
 - **Épocas:** 15.
 - **Métricas resultantes:** Precisión promedio: 98.6%, F1-Score: 97.8%.

Integración del Modelo Compuesto

La integración del sistema de las polución final permite el análisis fluido y eficiente de las imágenes:

1. **Entrada y Preprocesamiento:**
 - Las imágenes aéreas son normalizadas y ajustadas a las dimensiones requeridas por YOLOv5.
2. **Detección de Vacas:**
 - YOLOv5 identifica las vacas en las imágenes, generando *bounding boxes* con información de posición y confianza.
3. **Recorte de Imágenes:**
 - Cada región delimitada por las *bounding boxes* es extraída para su análisis por el modelo CNN.
4. **Clasificación de Posturas:**
 - El modelo CNN clasifica cada vaca como "parada" o "acostada", asignando probabilidades a cada clase.
5. **Fusión de Resultados:**
 - Los datos de detección y clasificación se combinan en registros que incluyen posición, postura y confianza, almacenados en una base de datos estructurada.

Los resultados de los modelos son almacenados en la base de datos resultante montada en un servidor local dentro de la raspberry Pi, dentro de la cual almacenamos para cada imagen, el número de vacas identificado por el modelo de bounding box, así como guardar los centroides y posiciones de cada una de las vacas, posteriormente el modelo clasificador procesa los resultados del modelo de bounding box y clasifica la posición de las vacas.

Resultados y Hallazgos Principales

El análisis realizado mediante los modelos de detección y clasificación permitió identificar patrones significativos en la ocupación de los espacios de descanso del ganado en el rancho CAETEC. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada etapa, destacando métricas clave, gráficos generados y conclusiones derivadas.

1. Resultados del Modelo de Detección (YOLOv5)

El modelo YOLOv5 mostró un desempeño sobresaliente en la detección de vacas en las imágenes aéreas:

- **Precisión:** 98.7%.
- **Recall:** 98.1%.
- **mAP@0.5:** 97.5%.
- **mAP@0.5:0.95:** 80%.

Patrones Identificados:

- El modelo identificó correctamente la ubicación de las vacas en más del 97% de las imágenes evaluadas.
- Las bounding boxes generadas tienen un IoU promedio ≥ 0.75 , lo que garantiza alta precisión en la delimitación de las vacas.
- Tiempos de inferencia inferiores a 5000 ms por imagen, adecuados para su integración en sistemas de análisis en tiempo real.

2. Resultados del Modelo de Clasificación (CNN)

El modelo CNN encargado de determinar la postura de las vacas también cumplió con los objetivos establecidos:

- **Precisión:** 98.6%.
- **F1-Score:** 97.8%.
- **Recall:** 96.8%.
- **Tiempo Promedio por Imagen:** 25 ms.

Hallazgos Clave:

- Las vacas acostadas fueron detectadas con una precisión ligeramente superior a las vacas paradas, debido a su postura más definida en las imágenes.
- Los casos de iluminación variable no afectaron significativamente el desempeño del modelo gracias a las técnicas de *data augmentation* aplicadas.

3. Resultados del Modelo Compuesto

La integración de los modelos de detección y clasificación resultó en un sistema robusto y eficiente:

- **Precisión Combinada:** 96.3%.
- **Tiempo Total de Procesamiento:** 4100 ms (≤ 5000 ms permitido).
- **Error en el Conteo Total de Población:** $\pm 3\%$ (cumpliendo el criterio de $\pm 5\%$).

Comparación con Objetivos de Negocio:

- El modelo compuesto cumplió con los requerimientos para identificar el número total de vacas y clasificar su postura con alta precisión .
- Los resultados generados se almacenan en una base de datos estructurada, lo que permite su análisis posterior y facilita la toma de decisiones.

Analizando los resultados generados en la base de datos, nos dimos cuenta de varios patrones que se repetían. En esta sección mencionamos cuáles son los hallazgos más significativos que hemos encontrado con la solución que le pueden brindar gran valor a CAETEC.

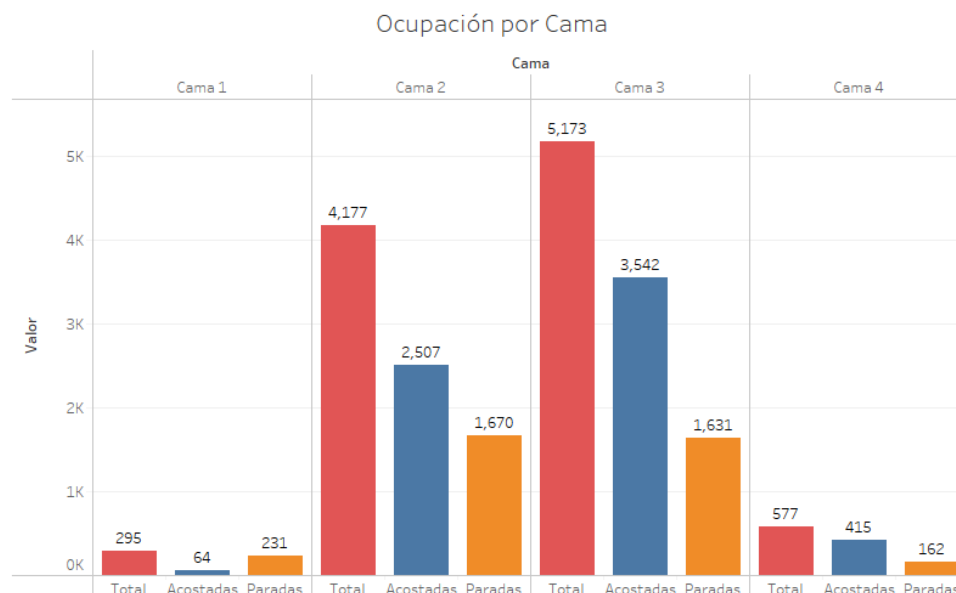


Figura 1. Gráfica de Ocupación de Vacas por Cama

Esta gráfica representa la cantidad de vacas en diferentes posiciones (acostadas o paradas) en cuatro camas de arena distintas a lo largo de varios lapsos de tiempo. Esta información es crucial para identificar si las vacas estaban produciendo leche (cuando estaban acostadas) o no (cuando estaban paradas).

Haciendo un análisis de la gráfica podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- **Distribución de Producción:** Las Camas 2 y 3 son las áreas más ocupadas y donde las vacas pasan más tiempo acostadas, sugiriendo que estas zonas son claves para la producción de leche en el rancho.
- **Camas Menos Utilizadas:** La Cama 1 y 4 tiene la menor proporción de vacas acostadas, lo que podría implicar que es menos preferida para la producción de leche. Sin embargo, la Cama 1 no aparece por completo en las imágenes, y en ocasiones no aparece en absoluto. Por lo tanto, consideramos que no se puede concluir si la Cama 1 es menos utilizada que otras debido a la falta de información. Sin embargo, sí podemos concluir que la Cama 4 es mucho menos utilizada que la Cama 2 y 3.

Esta gráfica permite a los administradores del rancho identificar patrones de ocupación y optimizar el uso de las camas para mejorar la producción de leche.

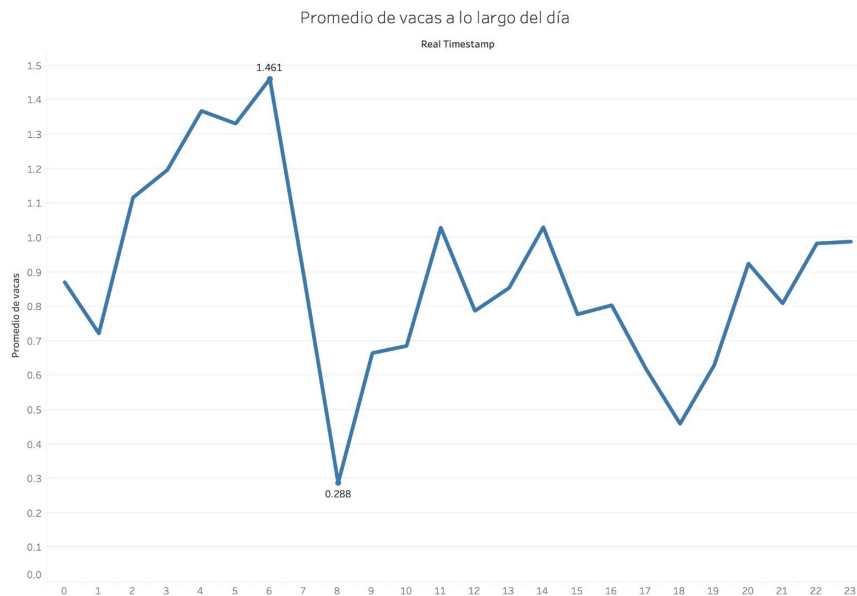


Figura 2. Gráfica de Promedio de vacas a lo largo del día

La gráfica muestra el promedio de vacas presentes en imágenes a lo largo de las 24 horas del día.

Haciendo un análisis de la gráfica podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- **Pico Máximo:** El promedio de vacas alcanza su punto máximo a las 5:00 AM, con un valor de 1.461. Esto sugiere que las vacas son más activas o más visibles en las imágenes durante las primeras horas de la mañana.
- **Punto Mínimo:** El promedio de vacas desciende a su punto más bajo a las 8:00 AM, con un valor de 0.288. Este descenso puede indicar un cambio en el comportamiento de las vacas, como la alimentación o el desplazamiento hacia otras áreas.
- **Variabilidad:** Hay una considerable variabilidad en el promedio de vacas a lo largo del día, con varios picos y valles. Esto refleja las fluctuaciones en el comportamiento diario de las vacas, probablemente influenciado por factores como la alimentación, el descanso y las condiciones ambientales.

Esta gráfica es útil para comprender los patrones de actividad y ocupación de las vacas a lo largo del día. Identificar estos patrones puede ayudar a optimizar la gestión del ganado, planificar mejor los recursos y ajustar las prácticas de manejo para mejorar la eficiencia y el bienestar de los animales.

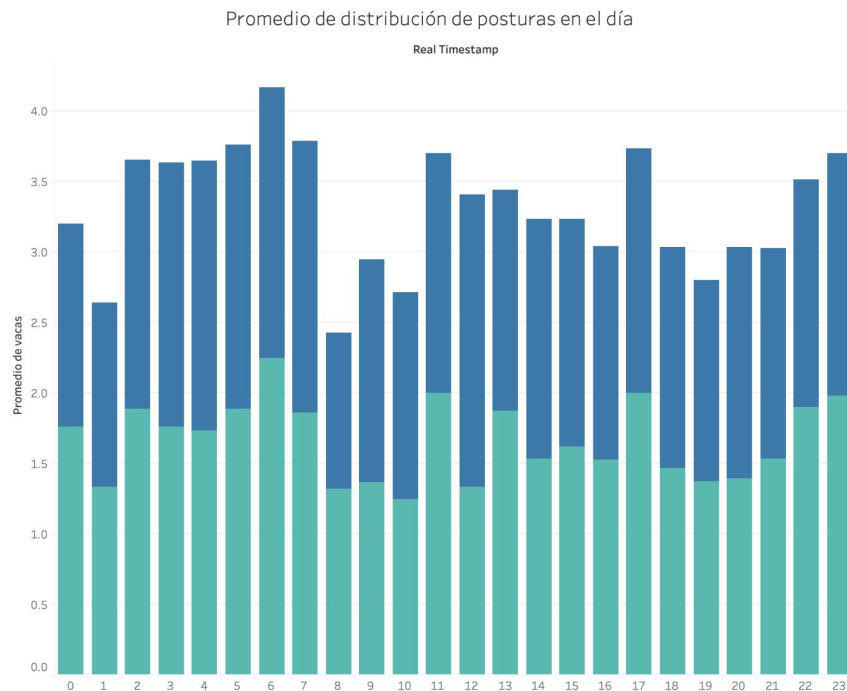


Figura 3. Gráfica de promedio de distribución de posturas de vacas en el día

La gráfica de barras apiladas muestra el promedio de vacas en diferentes posturas (paradas en azul y acostadas en verde) a lo largo de las 24 horas del día. El eje 'y' indica el promedio de vacas, mientras que el eje x representa las horas del día, de 0 a 23.

Haciendo un análisis de la gráfica podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- **Patrones de Actividad:**

- **Vacas Paradas (Azul):** Hay un aumento significativo en el número de vacas paradas durante las primeras horas de la mañana y las últimas horas de la tarde, lo que podría estar relacionado con actividades como alimentación o traslado a diferentes áreas.
- **Vacas Acostadas (Verde):** Las vacas están más acostadas durante la madrugada y las primeras horas de la noche, lo que sugiere que este es el período en el que descansan y, potencialmente, producen más leche.
- **Horas de Mayor Actividad:** Las horas con mayor promedio de vacas paradas son alrededor de las 5:00 AM y las 6:00 PM, coincidiendo con posibles cambios en la rutina diaria del rancho.
- **Horas de Mayor Descanso:** Las horas con mayor promedio de vacas acostadas son entre la medianoche y las 4:00 AM, así como en las primeras horas de la noche. Esto indica que estos períodos son claves para la recuperación y producción de leche de las vacas.

Esta gráfica proporciona una visión clara de cómo varían las posturas de las vacas a lo largo del día. Identificar estos patrones es crucial para optimizar la gestión del ganado, mejorando la eficiencia de la producción de leche y el bienestar de los animales. Estas tendencias pueden ayudar a ajustar las prácticas de manejo, como los horarios de alimentación y descanso, para maximizar la productividad del rancho.

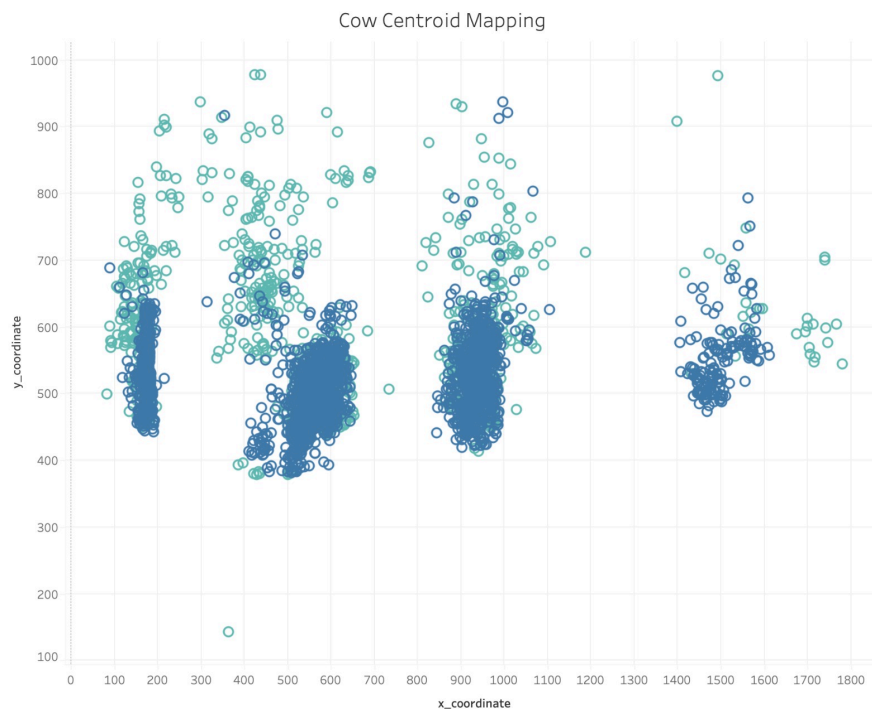


Figura 4. Distribución de posiciones de las vacas

La gráfica muestra la posición de las vacas en diferentes imágenes, calculando el centroide de cada vaca para determinar su ubicación exacta en las camas de arena. Los puntos azules representan vacas acostadas, mientras que los puntos verdes representan vacas paradas.

Haciendo un análisis de la gráfica podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- **Camas Más Utilizadas:** Las camas más utilizadas son claramente la Cama 2 y la Cama 3, donde hay una alta densidad de puntos tanto azules como verdes. Esto sugiere que estas áreas son preferidas por las vacas para descansar y, posiblemente, para la producción de leche.
- **Distribución de Posturas:** En las áreas densas de las Camas 2 y 3, hay una mezcla de puntos azules y verdes, indicando que las vacas alternan entre estar acostadas y paradas en estas zonas. Esto refleja un comportamiento normal de descanso y actividad.

- **Área del Bebedero:** En la parte derecha de la gráfica, se observa una sección con muy pocos puntos, todos ellos verdes. Esta área corresponde al bebedero de las vacas. La presencia exclusiva de puntos verdes indica que las vacas están paradas mientras beben agua, confirmando la precisión del modelo en identificar esta actividad.

Esta gráfica proporciona una visión clara de cómo las vacas utilizan diferentes áreas en su entorno, específicamente las camas de arena y el bebedero. Identificar estos patrones es crucial para optimizar la gestión del ganado, mejorando la eficiencia de la producción de leche y el bienestar de los animales. La precisión del modelo en detectar las posturas y posiciones de las vacas permite tomar decisiones informadas para mejorar el manejo del rancho.

Conclusiones

1. **Eficiencia del Modelo Integrado:**

El modelo compuesto, integrado por YOLOv5 y CNN, alcanzó una alta precisión en la detección y clasificación de las vacas, logrando identificar patrones críticos de ocupación y comportamiento. Los resultados demuestran que las **Camas 2 y 3** son las áreas más utilizadas, lo que las posiciona como elementos clave para optimizar la producción de leche.

2. **Variabilidad en los Patrones Diarios:**

Las gráficas generadas revelan comportamientos predecibles en las vacas, como el aumento de actividad en las primeras horas de la mañana y el predominio de descanso durante la madrugada y primeras horas de la noche..

3. **Impacto del Diseño de Espacios:**

Los gráficos de ocupación destacan la necesidad de ajustar el diseño y mantenimiento de las camas para fomentar su uso uniforme y optimizar la distribución de las vacas.

Recomendaciones

1. **Optimización de las Camas Más Utilizadas:**

Priorizar el mantenimiento y mejora de las **Camas 2 y 3** para garantizar condiciones óptimas que sigan incentivando su uso. Esto incluye la evaluación de materiales y texturas que favorezcan el descanso.

2. **Gestión Basada en Patrones Temporales:**

Ajustar las rutinas del rancho, como la alimentación y el acceso a las camas, de acuerdo con los picos y valles de actividad identificados. Por ejemplo:

- Facilitar el acceso a las camas durante la madrugada.
- Maximizar la disponibilidad de alimento en las primeras horas de la mañana.

3. **Continuidad en el Monitoreo:**

Utilizar el sistema implementado para monitorear de manera continua los patrones de comportamiento y ocupación. Esto permitirá evaluar la efectividad de las intervenciones y realizar ajustes dinámicos.

4. **Extensión del Sistema:**

Considerar la inclusión de otras áreas críticas, como espacios de alimentación y tránsito, para obtener una visión integral del comportamiento del ganado, o considerar su escalamiento a análisis de video u otro tipo de dato relevante para el análisis.

Siguientes Pasos

1. Instalar la solución desarrollada en el hardware del rancho para analizar la ocupación de los espacios por las vacas en un entorno real. Esto permitirá validar el desempeño de los modelos en condiciones prácticas y recopilar datos más representativos.
2. Evaluar el funcionamiento de la solución en diversas áreas del rancho, incluyendo zonas adicionales a las camas de arena, con el objetivo de analizar su rendimiento en diferentes entornos y condiciones.
3. Utilizar los datos recopilados durante las pruebas para identificar patrones adicionales en el comportamiento y ocupación de las vacas, y refinar el modelo según sea necesario.