

Evaluate Results

1.1 Evaluación de Resultados de Minería de Datos y Cumplimiento de Objetivos del Proyecto

La fase de evaluación tuvo como propósito determinar si los modelos desarrollados cumplían tanto con los **objetivos analíticos** como con los **objetivos de negocio** establecidos para el CAETEC, particularmente la necesidad de **automatizar la clasificación del estado productivo y de secado de las vacas Holstein**. Para ello, se analizaron métricas de desempeño, estabilidad, capacidad de generalización y pertinencia operativa.

Los resultados demostraron que los modelos basados en árboles de decisión, principalmente **Random Forest** y **XGBoost**, ofrecieron el mejor rendimiento. Random Forest alcanzó métricas cercanas a la perfección dentro del dataset disponible, mientras que XGBoost mostró una ligera disminución en desempeño, pero con mayor estabilidad y menor riesgo de sobreajuste. Técnicas adicionales como Regresión Logística, MLP y TabNet obtuvieron resultados aceptables, aunque con menor capacidad discriminativa y menor estabilidad en clases minoritarias.

1.2 Cumplimiento de los Objetivos de Minería de Datos

1. **Evaluar consistencia de patrones productivos y reproductivos en distintos subconjuntos del hato**
 - Durante el análisis se comprobó que los patrones productivos particularmente el declive previo al secado se mantuvieron estables entre subconjuntos del hato, lo cual respalda la replicabilidad del enfoque.
2. **Determinar replicación de hallazgos entre períodos y grupos de vacas**
 - Los modelos lograron identificar consistentemente los mismos indicadores clave (DEL, producción diaria, estado reproductivo), demostrando que las reglas fisiológicas aprendidas son coherentes entre vacas y periodos distintos.
3. **Determinar variables que explican el estado de secado**
 - Las variables seleccionadas por los modelos (producción diaria, DEL, días de gestación) coinciden con la fisiología bovina y con el criterio experto de la Dra. Guadalupe, confirmando su relevancia.
4. **Generar indicadores útiles del estado de secado y patrones recurrentes**
 - El sistema logró diferenciar de manera automática tres estados:
 - i. Vaca en producción
 - ii. Vaca en monitoreo
 - iii. Vaca en periodo previo al secado

Esto permite contar con alertas tempranas que anteriormente dependían de criterios no estandarizados.

1.3 Cumplimiento de los Objetivos de Negocio

1. **Replicabilidad del proyecto en otros hatos y/o ranchos**
 - a. La metodología completa quedó documentada en los reportes CRISP-DM (RCD, RPD, RM, RE, RD), incluyendo variables, procesos, limitaciones y criterios de éxito.
 - b. Los patrones identificados se mantuvieron estables entre distintos subconjuntos, lo que respalda su uso en hatos con características similares.
 - c. El modelo y el dashboard pueden integrarse fácilmente en sistemas locales o en infraestructura DeLaval.
2. **Aportar conocimiento útil sobre las vacas Holstein**
 - a. Los modelos permiten entender qué variables determinan el estado de producción y secado.
 - b. La clasificación automática facilita decisiones fundamentadas sin depender exclusivamente de la interpretación humana.
3. **Respaldar decisiones de manejo y cuidados en el periodo de secado**
 - a. El modelo automatiza la detección del periodo previo al secado, lo que respalda decisiones operativas y reduce la variabilidad en la práctica veterinaria.
 - b. Las decisiones tomadas durante el proyecto se documentaron y se basaron en la evidencia generada por los modelos.

1.4 Limitaciones detectadas y consideraciones para el futuro

Aunque los resultados son sólidos, se identificaron riesgos importantes:

- El dataset final contiene una porción significativa de datos aumentados basados en reglas fisiológicas, lo cual puede inducir dependencia de dichas reglas o que estas lleguen a ser deprecadas si se consideran otros criterios.
- La partición aleatoria del dataset puede generar datos del mismo animal en entrenamiento y prueba, incrementando artificialmente las métricas.

No obstante, dadas las condiciones actuales y la ausencia de nuevos datos reales, los modelos representan el mejor desempeño alcanzable. Su uso inmediato es viable, con la recomendación de **validar y recalibrar** el sistema conforme se integren nuevos ciclos de lactancia.

2. Modelos Aprobados

La evaluación de todos los modelos determinó que **XGBoost** es el modelo más adecuado para implementación, debido a su equilibrio entre desempeño, regularización y estabilidad. **Random Forest**, aunque superior en métricas dentro del dataset empleado, presenta un mayor riesgo de Overfitting al conjunto aumentado y por ello se adopta como modelo alternativo de referencia, pero no como modelo primario.

El resto de técnicas evaluadas no alcanzaron el nivel de rendimiento ni la consistencia requeridos para uso operativo, por lo que se descartan y se decide seguir con estos dos como finalistas.