



Universidad Nacional de Lomas de Zamora
Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera: Ingeniería Zootecnista
Práctica Profesional Asistida

**TÍTULO: SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PRODUCTIVA EN UN RODEO
DE CRÍA EN LA CUENCA DEL SALADO**

Estudiante: Erneta Luciana
Director: Martínez Rubén Darío
Co-director: Garciarena Martín Bernardo

Lomas de Zamora, diciembre, 2025

Índice General

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1	Planteo del problema y revisión de antecedentes	4
1.2	Justificación	8
2.	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo general	11
2.2	Objetivos específicos	11
3.	ACTIVIDADES REALIZADAS	12
3.1	Reorganización de la información	12
3.2	Arreglos de información	15
3.3	Planificación de estructura del software	17
3.3.1	Panel de control	19
3.3.2	Reproductores	20
3.3.3	Apareamientos	21
3.3.4	Servicios	22
3.3.5	Diagnósticos	23
3.3.6	Terneros	24
3.3.7	Asignación de grupos	26
3.3.8	Indicadores	27
3.3.9	Genealogía	28
3.4.	Desarrollo de software	29
3.4.1	Backend	30
3.4.2	Frontend	31
3.5	Obtención de indicadores productivos y genéticos	34
4.	RESULTADOS	38
5.	PROPUESTA DE MEJORA	43
6.	BIBLIOGRAFÍA	47

Índice de Figuras

Figura 1.	Rodeo de cría en el establecimiento Cruz de Guerra	4
Figura 2.	Flujo de Digitalización Agropecuaria. Fuente: Secretaría de Asuntos Estratégicos (2022)	9
Figura 3.	Hoja de Cálculo de Excel utilizada para el desarrollo	13
Figura 4.	Base de datos en SQLite	14
Figura 5.	Tratamiento para categorizar vacas de cría en SQLite según su edad al primer servicio	17
Figura 6.	Vista final del módulo Destetes	26
Figura 7.	Fragmento de código en el cual se reciben las peticiones del sitio web (frontend)	30
Figura 8.	Fragmento de código Javascript encargado del inicio de sesión del usuario	32
Figura 9.	Estructura general del software	34
Figura 10.	Aspecto del software en el módulo de Indicadores Productivos	36
Figura 11.	Módulo de Predicciones utilizando Inteligencia Artificial	37
Figura 12.	Seguimiento individual en el módulo de Indicadores Productivos	38
Figura 13.	Panel de Control	39
Figura 14.	Eficiencia Materna visualizada en Panel de Control	40
Figura 15.	Coeficiente de Fertilidad visualizado en Panel de Control	41

Tabla de Abreviaturas o Acrónimos

Sigla	Significado
--------------	--------------------

AI	Artificial Intelligence / Inteligencia Artificial
CF	Coeficiente de Fertilidad
EM	Eficiencia Materna (kg ternero / kg madre)
FAO	Food and Agriculture Organization
GPS	Global Positioning System
IBD	Índice de Consanguinidad
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
IP	Intervalo entre Partos (meses)
Kg	Kilogramo
LVP	Longitud de Vida Productiva (meses)
MAE	Mean Absolute Error (Error Absoluto Medio)
ML	Machine Learning / Aprendizaje Automático
RMSE	Root Mean Squared Error (Raíz del Error Cuadrático Medio)
RP	Registro Patronímico
SAE	Secretaría de Asuntos Estratégicos
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación

1. INTRODUCCIÓN

El establecimiento Cruz de Guerra, ubicado en el partido de 25 de Mayo, Cuenca del Salado, provincia de Buenos Aires, mantiene una trayectoria de más de 39 años dedicados a la cría de ganado Bovino Criollo Argentino. Este rodeo es gestionado por la familia Garciarena, quienes además desarrollan en ese establecimiento, actividades complementarias vinculadas a la agricultura y al engorde a corral, conformando así un esquema productivo diversificado y sostenido en el tiempo.

Desde el año 1986, cuando la familia adquirió las primeras hembras, fundadoras del rodeo, también incorporó la práctica de registrar datos básicos, a efectos de verificar el comportamiento productivo de los vientres. Se anotaron fechas de nacimiento de las crías, fechas de servicio de los vientres, identificación de los animales mediante tatuaje y caravana, pesos a distintas edades, etcétera. Inicialmente, estos datos se anotaban en una ficha que tenía cada vaca y en cuadernos de uso diario. Más adelante, en el año 2005, estos datos se copiaron en planillas de Excel, que presentaban mayor seguridad y facilidad para su procesamiento y estimación de distintos cálculos, como sumatorias, promedios, porcentajes, etcétera. Aunque este fue un paso importante y que facilitó el conocimiento de la producción histórica de cada vientre del rodeo, había cuestiones que eran difíciles de resolver, a la hora de tomar decisiones con información confiable. Estos registros presentaban algunas inconsistencias: los cálculos eran limitados, existían datos incompletos o faltantes, e incluso duplicaciones. A la hora de considerar la información productiva para tomar decisiones de ventas, descartes, reposición de vientres o de toros etc., estos registros no cumplían con la practicidad y confiabilidad que se necesitaban en ese momento. La inquietud de los propietarios del rodeo, especialmente de Martín Garciarena, interesado en conocer y divulgar la información productiva generada por el rodeo de bovinos Criollos, lo llevó a contactarse con integrantes de la cátedra de Mejora y Conservación de Recursos genéticos de la carrera de Ing. Zootecnista de la UNLZ, con quienes mantenía relación desde hace varios años. A partir de esta interacción y haciendo uso de mis conocimientos

en programación y desarrollo de software, tuve la posibilidad de plantear la elaboración de una herramienta informática integral, para gestionar adecuadamente y de forma sencilla, los datos productivos del rodeo. Esta necesidad fue el punto de partida para el desarrollo de un sistema amigable, que procesa automáticamente los datos y genera indicadores genéticos y productivos, facilitando el seguimiento del rodeo, la interpretación de las tendencias y la toma de decisiones estratégicas para mejorar la eficiencia del plantel.



Figura 1. Rodeo de cría en el establecimiento Cruz de Guerra

1.1 Planteo del problema y revisión de antecedentes

A pesar de contar con casi cuatro décadas de registros productivos, el establecimiento Cruz de Guerra no dispone de un sistema integral que permita gestionar, depurar, analizar y aprovechar de manera estratégica la información generada por su rodeo Criollo Argentino. Los datos existían, estaban allí, pero permanecían subutilizados o directamente inactivos, sin cumplir ninguna función operativa o analítica. Esto se debía, en buena parte, a problemas estructurales en la forma de registrar: inconsistencias entre años, duplicaciones, omisiones, diferencias en los criterios de carga y ausencia de estandarización, elementos que dificultaban su empleo para la toma de decisiones y limitaban el verdadero potencial

que tiene la utilización de la información propia para mejorar el rodeo. En consecuencia, la información no podía traducirse en indicadores confiables que permitieran un seguimiento continuo del desempeño individual ni general. Esta situación impedía obtener métricas esenciales como fertilidad, longevidad, crecimiento, peso al destete, eficiencia maternal o comportamiento reproductivo; tampoco era posible identificar animales sobresalientes, evaluar tendencias productivas, comparar la performance entre generaciones o establecer una trazabilidad interna confiable, indispensable para un manejo racional de los rodeos de cría.

Este problema no constituye un caso aislado, sino que refleja una realidad ampliamente documentada en la literatura sobre digitalización agropecuaria. Wolfert et al. (2017) señalan que, aunque muchos establecimientos acumulan datos durante años, la falta de infraestructura capaz de capturarlos, procesarlos y convertirlos en decisiones limita totalmente su utilidad. Según estos autores, cuando los registros no son interoperables, estandarizados ni utilizados en un ciclo continuo de captura, análisis y retroalimentación, se transforman en “datos inertes”, es decir, datos que existen, pero no generan valor operativo ni estratégico. Esta conceptualización coincide plenamente con la situación observada en Cruz de Guerra.

Esta falta de organización imposibilitaba transformar los registros en indicadores confiables capaces de describir el desempeño individual y general del rodeo. Como consecuencia, no era posible obtener métricas esenciales vinculadas a fertilidad, crecimiento, eficiencia maternal, longevidad productiva o comportamiento reproductivo, ni evaluar tendencias, comparar generaciones o construir una trazabilidad interna sólida.

Esta situación coincide con lo planteado por Carrillo (1988) en su libro *Manejo de un rodeo de cría*, quien sostiene que la eficiencia productiva de un rodeo, depende directamente de la relación entre los insumos utilizados y lo producido y que dicha eficiencia solo puede estimarse adecuadamente, cuando se cuenta con indicadores claros, comparables y

sustentados en registros consistentes. Para el autor, métricas como el porcentaje de preñez, el porcentaje de terneros logrados por vaca expuesta, la mortalidad al pie, el índice de destete o los kilogramos de ternero por hectárea y por año constituyen la base para evaluar el funcionamiento de un sistema de cría. Sin embargo, advierte que estos índices “no tienen igual valor” si no se aplican criterios uniformes de manejo y si no existe continuidad y precisión en los datos recolectados. Esto es exactamente lo que ocurría en Cruz de Guerra: la información disponible no permitía construir indicadores válidos, lo que impedía medir la eficiencia real del rodeo y limitaba la posibilidad de orientar decisiones de selección, carga animal o manejo reproductivo.

Asimismo, este diagnóstico se alinea con lo señalado por Wolfert et al. (2017) respecto de la digitalización agropecuaria: cuando los registros no se integran en un ciclo continuo de captura, procesamiento y retroalimentación, se convierten en datos inertes que no generan valor operativo ni estratégico. En el caso de Cruz de Guerra, la ausencia de un sistema digital que ordenara, limpiara y estandarizara la información acumulada hacía imposible que los indicadores sugeridos por Carrillo, fundamentales para evaluar productividad y eficiencia, pudieran calcularse, compararse o utilizarse como base para la toma de decisiones.

En este sentido, la situación de Cruz de Guerra encarna exactamente la problemática que Carrillo describe: un rodeo de cría, sin un sistema que garantice la continuidad, calidad y utilidad de la información, condiciona la evolución reproductiva y productiva del rodeo.

La literatura argentina aporta evidencia en el mismo sentido. Diversos estudios muestran que la digitalización en la ganadería nacional presenta una adopción extremadamente heterogénea. Aunque el país se posiciona como referente regional en agricultura y ganadería de precisión, la capacidad de registrar, procesar y utilizar datos para la toma de decisiones apenas alcanza alrededor del 60% de los productores, con una fuerte concentración en establecimientos tecnificados (INTA, 2020). El informe Argentina

Productiva 2030 advierte que esta brecha no responde únicamente a decisiones individuales, sino también a factores estructurales como la conectividad rural insuficiente, los costos iniciales de adopción tecnológica, la falta de capacitación y la velocidad con la que avanza el ecosistema digital en comparación con su implementación real en los establecimientos.

Los hallazgos internacionales refuerzan esta interpretación. Eastwood et al. (2019) sostienen que la adopción tecnológica en sistemas pastoriles y ganaderos se encuentra profundamente condicionada por la ausencia de acompañamiento, la complejidad percibida de las herramientas y la falta de soluciones diseñadas específicamente para los contextos productivos locales. Según estos autores, los productores suelen abandonar o utilizar de forma parcial las tecnologías cuando no reciben la capacitación adecuada o cuando sienten que las plataformas no se ajustan a sus rutinas, conocimientos o necesidades reales. La resistencia al cambio no deriva necesariamente de un rechazo a la digitalización, sino de la incertidumbre económica, la percepción de riesgo y la falta de evidencia concreta sobre el retorno de la inversión.

Eastwood et al. (2019) también destacan que la digitalización genera desafíos sociales, culturales y organizacionales que deben considerarse para comprender integralmente la problemática. La transición desde prácticas tradicionales hacia modelos basados en datos transforma roles, rutinas y formas de gestionar, lo que puede generar tensiones dentro del establecimiento. En muchos casos, surge una sensación de pérdida de control sobre la información o una dependencia excesiva de sistemas percibidos como “cajas negras”. De manera complementaria, Wolfert et al. (2017) advierten que la gobernanza de los datos (quién accede, almacena y utiliza la información productiva) constituye uno de los obstáculos más importantes para la consolidación de modelos de *Smart Farming*. La falta de reglas claras respecto de la propiedad y el uso de los datos puede generar desconfianza y limitar la disposición de los productores a adoptar tecnologías digitales.

En paralelo, estudios específicos en ganadería de cría muestran que, aun existiendo una necesidad evidente de incorporar TIC para mejorar la eficiencia y cumplir con estándares como la trazabilidad, persisten barreras estructurales y organizacionales. Ferrari y Zapata (2015) identifican que la falta de recursos tecnológicos, la escasa capacitación y la insuficiente adaptación de los sistemas digitales al contexto real del productor promedio dificultan la adopción en sistemas extensivos. A nivel internacional, McFadden et al. (2022) muestran que incluso en países con alta disponibilidad tecnológica la adopción de herramientas digitales sigue siendo limitada debido a la incertidumbre sobre su impacto económico, los costos iniciales y la falta de evidencia objetiva sobre el beneficio productivo. Estos factores, combinados con aspectos culturales y percepciones subjetivas del riesgo, explican por qué la digitalización ganadera avanza con mayor lentitud que en otros sectores del agro.

En conjunto, los antecedentes nacionales e internacionales coinciden en un punto central: la existencia de datos no garantiza capacidad de gestión si no existe un sistema que permita integrarlos, depurarlos y analizarlos de manera continua. Lo ocurrido en Cruz de Guerra constituye un ejemplo claro de esta problemática. A pesar de disponer de una valiosa base de datos histórica, la ausencia de un sistema integral para su gestión, impedía transformar esa valiosa información propia, en una herramienta estratégica para la mejora de la toma de decisiones. Por ello, el planteo del problema se orienta a la necesidad de ordenar, digitalizar, estandarizar y sistematizar registros que, correctamente gestionados, pueden convertirse en un insumo clave para optimizar la eficiencia y la gestión en rodeos de cría.

1.2 Justificación

Tomando como base las problemáticas previamente identificadas, se planteó una solución orientada a resolver tanto las limitaciones técnicas como operativas en la gestión de los datos del rodeo. La propuesta consistió en desarrollar un sistema automatizado de registro, resguardo y análisis que reprodujera, en términos prácticos, el flujo conceptual representado

en la Figura 2, desde la generación de información en el campo, su captura mediante registros manuales, su procesamiento en una plataforma digital y su transformación en datos útiles para la toma de decisiones. Este sistema no solo permite integrar la información histórica ya recolectada, sino también garantizar que el productor pueda continuar con la carga, actualización y validación de nuevos datos de manera sostenida. En coherencia con el modelo “campo-plataforma-datos-decisiones-acción”, la prioridad fue construir un entorno virtual intuitivo, accesible y de baja complejidad, diseñado para que cualquier usuario, independientemente de su familiaridad con herramientas digitales, pueda utilizarlo tras una capacitación básica, asegurando así que la información fluya de manera continua hacia decisiones más precisas y acciones efectivas en el establecimiento.



Figura 2. Flujo de Digitalización Agropecuaria. Fuente: Secretaría de Asuntos Estratégicos (2022)

El sistema se diseñó priorizando que las funciones esenciales deben estar disponibles en menos de cuatro clics, con el objetivo de garantizar rapidez, fluidez y una mínima fricción operativa durante su uso cotidiano. Esta filosofía de diseño, apunta a reducir las barreras tecnológicas que usualmente generan abandono de herramientas informáticas, frustración del usuario o dependencia permanente de asistencia técnica. La premisa central fue que la tecnología debía adaptarse al productor, y no al revés.

Además de su utilidad práctica, esta metodología estandarizada de recopilación, organización, sistematización y análisis posee beneficios desde una perspectiva científica y académica. La centralización de datos en un formato unificado permite que la información pueda ser utilizada en investigaciones zootécnicas, estudios comparativos entre rodeos, análisis regionales o diagnósticos basados en indicadores objetivos. De esta manera, el

sistema no solo cumple una función operativa para el establecimiento, sino que también se convierte en un insumo valioso para la comunidad científica, o para entidades administrativas, que requieran de información productiva válida y actualizada, para realizar comparaciones y estimaciones productivas entre establecimientos, regiones, razas, etcétera.

Para el establecimiento, la implementación del sistema ofrece ventajas directas: permite obtener métricas clave de desempeño, automatizar cálculos complejos, reducir errores humanos y mejorar la precisión en la interpretación de la evolución del rodeo. Indicadores como fertilidad, eficiencia maternal, longevidad, peso al destete, tasas de reposición y productividad por vaca, dejando de depender de cálculos manuales, que pasan a generarse automáticamente a partir de la información cargada, aportando claridad y transparencia al proceso de toma de decisiones.

Por otra parte, el enfoque centrado en un software simple, intuitivo y amigable favorece la apropiación tecnológica por parte de productores y trabajadores rurales. Esto no solo promueve la incorporación real de prácticas de manejo más precisas, sino que además prepara al establecimiento para responder a las crecientes exigencias del mercado en términos de trazabilidad, sustentabilidad, certificación y disponibilidad de datos verificables. Asimismo, el sistema brinda flexibilidad al ofrecer la posibilidad de delegar su uso en técnicos externos o consultores especializados mediante accesos autorizados, sin comprometer la autonomía del productor ni la seguridad de la información.

La capacidad del sistema para resguardar décadas de registros históricos constituye otro beneficio fundamental. Muchos establecimientos pierden información valiosa por falta de respaldo o deterioro de archivos físicos; en este caso, el sistema funciona como un soporte documental que preserva el conocimiento acumulado, mantiene el hilo histórico del rodeo y garantiza su continuidad para futuras generaciones o estudios.

Desde el punto de vista económico, la herramienta permite reducir pérdidas asociadas a la falta de información clara oportuna. Por ejemplo, facilita identificar vacas con mayor número de partos a lo largo de su vida útil, animales que no han alcanzado parámetros mínimos de desempeño, o reproductores que no transmiten características deseables, lo que permite optimizar la reposición, mejorar la selección y ajustar el manejo en función de datos objetivos. Esto convierte a la información en un insumo económico tangible: un factor que impacta directamente en la eficiencia general del sistema productivo y en la rentabilidad del rodeo.

Por los motivos antes expuestos, el desarrollo del sistema informático no solo responde a la necesidad de digitalizar y organizar los datos del establecimiento, sino que constituye un puente entre la práctica productiva y el análisis técnico-científico, permitiendo transformar registros dispersos en conocimiento útil, y conocimiento útil en decisiones productivas de mayor calidad.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Desarrollar un software para la mejora en la toma de decisiones productivas en un rodeo de cría

2.2 Objetivos específicos

- Estimación de la consanguinidad y relaciones de parentesco de todos los integrantes del rodeo de cría
- Determinación automática y digitalizada de características femeninas productivas (eficiencia materna, coeficiente de fertilidad, longitud de vida productiva, número de terneros destetados, intervalo entre partos, etcétera).
- Determinación automática y digitalizada de indicadores generales del rodeo (tamaño efectivo anual, porcentaje de preñez anual, porcentaje de destete anual, tasa de reposición anual, producción total de carne anual, etcétera).

3. ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1 Reorganización de la información

Se utilizó una base de datos longitudinal recopilada a lo largo de 39 años (1986-2025) correspondiente a la raza Bovino Criollo Argentino, perteneciente al Establecimiento Cruz de Guerra, localizado en la localidad de 25 de Mayo, provincia de Buenos Aires, Argentina. Este establecimiento se encuentra registrado en la Asociación Argentina de Criadores de Ganado Bovino Criollo Argentino (ACGBCA), condición que respalda la validez zootécnica y la trazabilidad histórica de la información recolectada. La continuidad temporal de los registros convierte a esta base de datos en un insumo excepcional para la evaluación genética y productiva, dado que pocas cabañas del país cuentan con una serie histórica tan extensa y sistemática.

Antes de la implementación de un software especializado para la gestión de la información reproductiva y genética, los datos se hallaban fragmentados en múltiples formatos, sin un criterio unificado de integración ni un sistema que permitiera su aprovechamiento analítico. La información crítica para la administración del rodeo, incluyendo registros reproductivos (servicios, partos, preñeces), datos productivos (pesajes, crecimiento) y antecedentes genealógicos, se encontraba distribuida entre hojas de cálculo de Excel, documentos manuscritos y cuadernos de campo.

										MADRE						PADRE		DESTETES			
RP	SEXO	FECHA DE NAC.	Reg	C	PN	RP	HBA	Reg	C	FECHA DE NAC.	Nombre del padre	PESO DEST	HAB MAT	TS	RP	FECHA DE	PESO	DIAS A DES	GDP		
1131	M	29-06-22	302		24	1108						380	0,52		793	28/02/2023	198	244	0,71		
1133	M	02-07-22	304		22	1066						418	0,54		434	28/02/2023	224	241	0,84		
1135	M	10-07-22	310			904						460	0,49		434	28/02/2023	226	233	0,97		
1137	M	13-07-22	312		25	776						450	0,53		434	28/02/2023	240	230	0,93		
1139	M	13-07-22	314		24	1004						424	0,50		434	28/02/2023	212	230	0,82		
1141	M	15-07-22	315		25	636						430	0,51		434	28/02/2023	218	228	0,85		
1143	M	19-07-22	316		28	1070						378	0,57		434	28/02/2023	216	224	0,84		
1145	M	19-07-22	317		23	1040						440	0,53		434	28/02/2023	234	224	0,94		
1147	M	19-07-22	318		25	1042						414	0,55		434	28/02/2023	228	224	0,91		
1149	M	21-07-22	319		23	980						484	0,48		434	28/02/2023	234	222	0,95		
1151	M	21-07-22	320		23	982						476	0,48		434	28/02/2023	228	222	0,92		
1153	M	23-07-22	321		24	1024						452	0,41		434	28/02/2023	184	220	0,73		

Figura 3. Hoja de Cálculo de Excel utilizada para el desarrollo

Este esquema de almacenamiento generaba una serie de limitaciones operativas, entre ellas:

- dificultad para realizar análisis sistemáticos y comparativos entre animales o entre generaciones;
- mayor probabilidad de errores de transcripción, omisiones o duplicaciones;
- imposibilidad de establecer relaciones rápidas entre parámetros reproductivos, fenotípicos y genéticos;
- ausencia de mecanismos automatizados de cálculo que permitieran obtener indicadores clave del desempeño del rodeo.

La base de datos original, conformada por registros manuales y planillas electrónicas, se encontraba organizada en una estructura tabular tradicional, donde cada fila correspondía a un animal individualmente identificado y cada columna contenía atributos referidos a su identificación, genealogía, eventos reproductivos, pesajes y demás características productivas. La primera columna definía la categoría temporal, generalmente asociada al año de nacimiento, lo que permitía ordenar el historial generacional y reconstruir la evolución del rodeo a lo largo del tiempo.

Si bien esta estructura facilitaba la visualización directa de algunos datos básicos, no resultaba adecuada para análisis más complejos, como el seguimiento longitudinal del desempeño, la construcción de genealogías completas, el cálculo de indicadores reproductivos, o la evaluación genética a nivel de animales, familias o cohortes. Además, la ausencia de validaciones automáticas permitía la coexistencia de entradas inconsistentes, valores faltantes, repeticiones y distintas convenciones en la forma de nombrar o clasificar a los animales, lo que demandó una etapa inicial de depuración y estandarización antes de iniciar el análisis automatizado.

La base de datos utilizada para este proyecto fue desarrollada en SQLite, seleccionada por su eficiencia, portabilidad y capacidad para manejar grandes volúmenes de información sin requerir infraestructura adicional. La estructura final del sistema se organizó en tres tablas

principales, diseñadas bajo un modelo relacional que permite vincular de forma precisa los eventos productivos, reproductivos y genealógicos del rodeo.

La tabla Reproductores contiene la información individual de cada animal registrado a lo largo de la serie histórica. Incluye un id único, Registro Particular (RP), raza, identificación de madre y padre, fecha de nacimiento, sexo, categoría al primer servicio, estado (activo o baja), número de caravana electrónica, fecha de baja, motivo de baja y otras variables de interés. Esta tabla constituye el núcleo del sistema, ya que permite reconstruir la genealogía del rodeo, evaluar parentescos y seguir la trayectoria vital de cada animal desde su ingreso hasta su egreso del establecimiento.

Table: reproductores

	id	nacimiento	madre	padre	RP	observaciones	sexo	IBD	responsable	estado	raza	rodeo	motivobaja	origen	fechabaja
	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
1	1	1986-08-01	0	0	SE1		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Vacia		1990-09-25
2	2	1986-08-01	0	0	T3		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Vacia		1995-09-01
3	3	1986-08-01	0	0	R5		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Venta		1991-09-01
4	4	1986-08-01	0	0	R7		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Venta		1991-09-01
5	5	1986-08-01	0	0	R9		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Vacia		2008-09-01
6	6	1986-08-01	0	0	A11		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Vacia		1991-09-01
7	7	1986-08-01	0	0	R13		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Vacia		1992-09-01
8	8	1986-08-01	0	0	R15		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Venta		1991-09-01
9	9	1986-08-01	0	0	R17		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Venta		1991-09-01
10	10	1986-08-01	0	0	R19		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Venta		1991-09-01
11	11	1987-08-01	0	0	R21		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Venta		1993-09-01
12	12	1987-08-01	0	0	T23		2	NULL	1	99	Criolla	NULL	Venta		1993-09-01

Figura 4. Base de datos en SQLite

La tabla Nacimientos agrupa todos los eventos reproductivos exitosos y contiene datos tales como id único, RP del ternero, identificación de la madre y el padre, fecha de nacimiento, peso al nacimiento, peso al destete, peso de la madre al destete, sexo, destino (venta o reposición), fecha de salida y observaciones clínicas como presencia de defectos congénitos. Además, cada nacimiento se vincula al servicio asociado, permitiendo rastrear de manera automática indicadores reproductivos como intervalo parto–parto, porcentaje de preñez y eficiencia materna.

La tabla Servicios almacena la información referida a cada evento de monta o inseminación. Incluye id único, identificación de la hembra y del macho, fecha de servicio, fecha de diagnóstico, resultado (preñada o vacía), estado del servicio y, cuando corresponde, el id

del ternero resultante. Esta tabla es fundamental para el cálculo de métricas reproductivas, así como para evaluar la eficacia de los reproductores y la eficiencia del sistema de empadre a lo largo del tiempo.

Dado el gran volumen y la heterogeneidad de los datos recopilados durante casi cuatro décadas, la carga inicial de la base de datos requirió un proceso de integración automatizado. Para ello, se utilizaron fórmulas avanzadas en Excel combinadas con algoritmos en *Python*, diseñados específicamente para estandarizar nomenclaturas, detectar inconsistencias, eliminar duplicados y transformar los registros originales en estructuras compatibles con SQLite.

El procedimiento se desarrolló en dos etapas principales. En primer lugar, se realizó la carga inicial del rodeo fundador, lo que permitió establecer una base genealógica sólida y depurada. En segundo lugar, se incorporó la información cronológica correspondiente a cada año, incluyendo servicios, nacimientos y bajas, construyendo así un sistema histórico coherente que preserva la secuencia temporal de los eventos productivos.

Este enfoque garantizó que la base de datos resultante fuera consistente, escalable y lista para su análisis automático, permitiendo la generación de indicadores genéticos y productivos con alto grado de precisión.

3.2 Arreglos de información

Dado que los registros de servicios no se encontraban presentes en la planilla original, fue necesario reconstruirlos a partir de la información existente. Para ello, se estimó la fecha probable de servicio considerando un período estándar de 283 días de gestación previos a la fecha de nacimiento del ternero. De este modo, cada nacimiento permitió inferir el servicio que lo originó, estableciendo una línea temporal coherente entre eventos reproductivos. En paralelo, aquellas vacas que no registraron un ternero en un determinado año y cuyo vacío productivo no se debía a un “robo” de cría, categoría aclarada por el productor en sus

anotaciones, fueron clasificadas como servicios con diagnóstico negativo, asumiendo que no se habrían preñado durante ese ciclo.

Una vez construida la base de datos operativa en SQLite, se procedió a un relevamiento exhaustivo de la información, ya que se detectaron inconsistencias y datos faltantes que impedían la obtención precisa de indicadores reproductivos y productivos. Esta etapa de depuración fue crucial debido a la extensión temporal del registro (casi cuatro décadas) y a las variaciones en los criterios de carga utilizados a lo largo del tiempo.

En primer lugar, se realizó un análisis de la longitud de vida productiva de todas las madres y del número total de terneros registrados por cada una de ellas. Durante este proceso emergieron casos particulares en los que algunas vacas figuraban con un número de crías mayor al biológicamente posible, o presentaban edades reproductivas incompatibles con un ciclo normal, excediendo ampliamente los límites conocidos para el Bovino Criollo Argentino. Asimismo, se identificaron animales con intervalos entre partos irregulares o incompatibles con la biología reproductiva bovina, duplicaciones de registros, y hembras que aparecían como activas pese a no presentar partos durante más de una década.

Estos casos fueron detectados mediante consultas SQL y visualizaciones temporales, y luego corregidos de manera masiva utilizando el motor de bases de datos, siempre con la colaboración del productor, quien aportó precisión histórica basada en sus anotaciones originales y en el conocimiento memorístico del rodeo. Este proceso permitió recuperar coherencia temporal y lógica en el conjunto de datos.

En segundo lugar, se procedió a generar información derivada necesaria para el cálculo de indicadores que no estaba explícitamente presente en las planillas originales. Uno de estos parámetros fue la categoría al primer parto, variable fundamental para el análisis de la eficiencia reproductiva y la longevidad productiva. Dado que no existía en la estructura original, se procedió a calcular la edad al primer servicio en meses, lo que permitió obtener una distribución heterogénea de edades dentro del rodeo.

```

1 UPDATE reproductores
2 SET p_serv = (
3   SELECT CASE
4     WHEN (julianday(c_reproh.fecha) - julianday(reproductores.nacimiento)) / 30 <= 12 THEN '12'
5     WHEN (julianday(c_reproh.fecha) - julianday(reproductores.nacimiento)) / 30 > 12 AND
6           (julianday(c_reproh.fecha) - julianday(reproductores.nacimiento)) / 30 <= 19 THEN '19'
7     WHEN (julianday(c_reproh.fecha) - julianday(reproductores.nacimiento)) / 30 > 19 THEN '24'
8   END
9   FROM c_reproh
10  WHERE reproductores.rp = c_reproh.rp
11 )
12 WHERE EXISTS (
13   SELECT 1
14   FROM c_reproh
15   WHERE reproductores.rp = c_reproh.rp
16 );
  
```

Figura 5. Tratamiento para categorizar vacas de cría en SQLite según su edad al primer servicio

Para facilitar el análisis y mejorar la comparabilidad entre animales, estas edades se clasificaron en tres categorías operativas:

- Servicio precoz ($\approx$ 15 meses)
- Servicio de otoño ($\approx$ 19 meses)
- Servicio tradicional ($\approx$ 24 meses)

Esta clasificación permitió estandarizar el cálculo de los indicadores asociados a la fertilidad, el desempeño reproductivo temprano y la vida útil de las vacas dentro del sistema productivo. Además, facilitó la elaboración de comparaciones entre cohortes, linajes y generaciones, aportando una visión más clara del impacto del manejo reproductivo sobre la productividad global del rodeo.

En conjunto, estas etapas de reconstrucción, depuración y generación de variables derivadas consolidaron una base de datos coherente, funcional y apta para análisis avanzados, permitiendo aprovechar plenamente el potencial analítico de los registros históricos del Establecimiento Cruz de Guerra.

3.3 Planificación de estructura del software

La planificación del software se estructuró en torno a un diseño modular, concebido para ordenar de manera lógica el flujo de información del rodeo y, al mismo tiempo, facilitar su utilización por parte del productor. Bajo este enfoque, cada módulo cumple una función

específica dentro de la gestión ganadera, lo que permite descomponer la complejidad del sistema productivo en áreas claras y manejables. El propósito central fue construir una herramienta intuitiva, operativamente simple y capaz de integrar en un único entorno digital todos los datos reproductivos, productivos y genealógicos que conforman el historial del establecimiento.

El sistema se diseñó de forma que cada sección represente una unidad funcional independiente, pero interconectada mediante la base de datos en SQLite, lo que asegura la consistencia interna y la coherencia en el flujo de información. Esta división modular no solo facilita la navegación del usuario, sino que también permite futuras ampliaciones, actualizaciones o incorporación de nuevas funciones sin alterar la estructura general. En otras palabras, el software fue planteado como una herramienta escalable y adaptable a las necesidades cambiantes del establecimiento y del sector.

La interfaz principal se organizó mediante un panel lateral de navegación, que funciona como eje central para acceder a las distintas herramientas del sistema. Este panel concentra los accesos a los módulos de reproductores, nacimientos, servicios, indicadores, genealogías y consultas personalizadas, entre otros. El diseño quedó guiado por la premisa de “máximo acceso con mínimos clics”, establecida como norma durante todo el proceso de desarrollo. El objetivo fue minimizar los desplazamientos del usuario dentro de la interfaz y reducir la necesidad de búsquedas prolongadas o interacciones innecesarias.

Este tipo de organización responde a principios básicos de usabilidad y ergonomía digital, donde la disposición clara y estable de los elementos facilita la incorporación de la herramienta en rutinas de trabajo cotidianas. En muchos establecimientos ganaderos, donde el tiempo disponible para tareas administrativas es limitado, la accesibilidad inmediata a la información se vuelve un factor determinante para la adopción tecnológica. Por eso, se priorizó que el menú lateral permitiera visualizar y acceder a las funciones

principales con rapidez, evitando interfaces sobrecargadas o dependientes de pasos intermedios.

En conjunto, el diseño modular y la navegación simplificada permiten que el productor o cualquier usuario autorizado pueda recorrer el sistema de forma fluida, comprendiendo claramente dónde se aloja cada tipo de información y cómo acceder a ella. Esta planificación es coherente con el objetivo general del proyecto: transformar décadas de registros dispersos en un sistema ordenado, accesible y operativo, capaz de mejorar la eficiencia administrativa y potenciar la toma de decisiones basada en datos.

Las secciones principales definidas fueron las siguientes:

3.3.1 Panel de control

El Panel de control constituye el punto de inicio para el usuario dentro del sistema y actúa como una vista general del estado actual del rodeo. Su función principal es concentrar, en un solo espacio visual, la información más relevante para la gestión diaria, permitiendo una lectura clara, inmediata y orientada a la toma de decisiones.

Este módulo presenta de manera resumida los indicadores globales del establecimiento, entre los que se incluyen el número total de vientres activos, kilogramos producidos en el último ciclo, tamaño efectivo del rodeo (Ne), distribución por categorías y un conjunto de métricas reproductivas claves, tales como porcentaje de preñez, porcentaje de destete, intervalo entre partos y tasas de reposición. La selección de estos indicadores responde a su importancia para evaluar la eficiencia general del sistema productivo y detectar tendencias a lo largo del tiempo.

Además, el panel integra gráficos simples y contadores automáticos que permiten visualizar cambios interanuales o identificar posibles desvíos respecto de los valores esperados. Esto convierte al módulo en una herramienta de monitoreo permanente, capaz de alertar al usuario sobre situaciones que requieren atención, como disminuciones abruptas en la

preñez, pérdidas reproductivas, bajas inesperadas o variaciones anómalas en el tamaño del rodeo.

Su diseño se basó en criterios de usabilidad y ergonomía, priorizando la claridad visual, el ordenamiento lógico de los indicadores y la reducción de la carga cognitiva del usuario. El objetivo es que, al ingresar al sistema, el productor pueda obtener en cuestión de segundos una lectura sintética y precisa del funcionamiento del rodeo, sin necesidad de recorrer múltiples pantallas ni realizar búsquedas adicionales.

En conjunto, el Panel de control funciona como una plataforma de supervisión estratégica, permitiendo al productor tomar decisiones basadas en evidencia actualizada y detectar de manera temprana las áreas que requieren intervención o ajustes en el manejo.

3.3.2 Reproductores

La sección Reproductores reúne el registro individual de todos los animales destinados a la reproducción dentro del establecimiento y constituye uno de los pilares estructurales del sistema. Su función es organizar de manera centralizada la información de cada ejemplar, evitando duplicaciones, corrigiendo inconsistencias y permitiendo un seguimiento longitudinal preciso a lo largo de toda su vida productiva.

Este módulo permite visualizar información esencial como la genealogía del animal (madre, padre y, cuando corresponda, datos complementarios del linaje), su estado reproductivo actual, historial de servicios, rendimiento en términos de número de crías producidas, indicadores productivos asociados a la madre (por ejemplo, peso promedio al destete de sus crías), categoría en cada etapa de su vida reproductiva y condición actual (activa, baja productiva, muerte, venta, entre otros eventos relevantes).

Asimismo, cada ficha individual incorpora los registros históricos correspondientes al animal, incluyendo fechas de servicio, partos asociados, bajas, diagnósticos reproductivos, cambios de categoría y métricas derivadas como intervalo entre partos, edad al primer servicio, edad

al primer parto, longevidad productiva y eficiencia maternal. Esto permite reconstruir la trayectoria completa de cada reproductor dentro del rodeo, facilitando análisis genealógicos, evaluaciones de desempeño y comparaciones entre individuos, líneas familiares o generaciones.

La sección se diseñó como la base operativa del sistema, ya que organiza la información a partir del animal como unidad mínima de análisis. Esto garantiza que cualquier consulta o cálculo (ya sea productivo, genético o histórico) pueda rastrear sin ambigüedades el origen de los datos. Además, al operar con identificadores únicos y validaciones automáticas, el módulo previene la aparición de registros duplicados, errores de denominación y confusiones típicas de los sistemas manuales.

En conjunto, el módulo Reproductores permite consolidar décadas de información dispersa en un formato estructurado, estable y accesible, siendo indispensable para el funcionamiento de los demás componentes del sistema y para la generación confiable de indicadores reproductivos y productivos.

3.3.3 Apareamientos

La sección Apareamientos fue diseñada para registrar de manera organizada y precisa todos los servicios realizados en el establecimiento, contemplando tanto la monta natural como la inseminación artificial. Este módulo constituye un componente esencial del sistema reproductivo, ya que permite documentar el inicio de cada ciclo, establecer la trazabilidad de los apareamientos y generar la información necesaria para las evaluaciones posteriores.

El usuario puede seleccionar la hembra y el macho involucrados en cada servicio, definir el período de empadre correspondiente y registrar observaciones adicionales, tales como condiciones particulares del animal, incidencias detectadas durante el manejo o aclaraciones sobre decisiones productivas. La incorporación de estas observaciones

permite contextualizar eventos reproductivos y facilita la interpretación de resultados posteriores.

Este módulo cumple un rol clave en el control del progreso reproductivo, ya que permite visualizar, en tiempo real, qué vacas fueron servidas, cuántos apareamientos tiene asignado cada toro y cómo evoluciona el empadre a lo largo de los distintos períodos. Además, proporciona las bases necesarias para la siguiente etapa del proceso: el diagnóstico de preñez, al asociar cada servicio con un animal y con una fecha estimada de evaluación.

La estructura de este módulo fue diseñada para evitar inconsistencias y duplicaciones, integrándose directamente con los registros individuales de cada reproductor. De esta manera, cada servicio queda vinculado al historial de la vaca y del toro, permitiendo reconstruir trayectorias reproductivas completas y analizar métricas como tasas de concepción, eficiencia individual de cada macho, servicios por concepción y comportamiento reproductivo por categoría o edad.

En síntesis, la sección Apareamientos actúa como el punto de origen del ciclo reproductivo dentro del sistema, asegurando que todos los eventos posteriores (diagnóstico, nacimiento, evaluación productiva) cuenten con una base registral sólida, ordenada y coherente a lo largo del tiempo.

3.3.4 Servicios

La sección Servicios funciona como el repositorio central de todos los eventos de servicio registrados dentro del sistema. A diferencia del módulo de Apareamientos, orientado a la carga operativa, esta sección cumple un rol principalmente analítico y de consulta, permitiendo revisar de manera ordenada y cronológica las campañas reproductivas llevadas a cabo en el establecimiento.

Desde este módulo es posible visualizar todas las temporadas de servicio históricas, identificar los períodos utilizados en cada año, comparar volúmenes de actividad

reproductiva entre ciclos y analizar la eficiencia de cada campaña. La información disponible incluye la hembra servida, el macho utilizado, la fecha del servicio, el estado del apareamiento, el diagnóstico asociado y, cuando corresponde, el vínculo con el ternero nacido del evento.

Este módulo resulta especialmente valioso para detectar patrones reproductivos, tales como concentración o dispersión de servicios, variaciones en los empadres según categoría, épocas de mayor o menor eficiencia, intervalos inconsistentes o comportamientos reproductivos atípicos. Además, permite evaluar la participación de cada toro en distintos períodos y estimar su impacto en la estructura genética del rodeo.

Su diseño favorece la trazabilidad, ya que todos los servicios se encuentran vinculados con los registros individuales de hembras y machos, así como con los nacimientos resultantes. De este modo, la sección Servicios integra pasado y presente del rodeo reproductivo, aportando una visión histórica indispensable para comprender la evolución del sistema y sustentar la toma de decisiones.

3.3.5 Diagnósticos

La sección Diagnósticos reúne y organiza todos los resultados obtenidos en las instancias de evaluación reproductiva, ya sea mediante tacto rectal o ecografía, y constituye un punto clave dentro del ciclo de gestión del rodeo. Su función es registrar si cada vaca se encuentra preñada o vacía, documentar su condición corporal al momento del diagnóstico y agregar una categorización adicional por boqueo, cuando esta información se encuentra disponible.

Este módulo desempeña un rol fundamental en la trazabilidad reproductiva, ya que cada diagnóstico se vincula automáticamente con el servicio correspondiente y con la ficha individual de la vaca. Esto permite reconstruir con precisión la secuencia de eventos

(servicio → diagnóstico → nacimiento), garantizando coherencia temporal y facilitando análisis evolutivos de la eficiencia reproductiva.

El sistema procesa la información ingresada en esta sección para actualizar de manera automática los indicadores reproductivos, como porcentaje de preñez, porcentaje de vacas vacías, servicio por concepción, eficiencia por categoría, y pérdidas entre servicio y diagnóstico. Asimismo, cuando un diagnóstico positivo es confirmado, el algoritmo inicia el proceso de creación del registro de terneros, estableciendo la fecha probable de parto e integrando los datos al flujo de información que culminará en el módulo de Nacimientos.

La incorporación de la condición corporal (CC) y del boqueo, agrega valor interpretativo al análisis, ya que estos parámetros permiten detectar correlaciones entre estado nutricional, edad dentaria y capacidad reproductiva. Esto aporta una dimensión biológica clave para comprender las causas de resultados desfavorables o variaciones interanuales, además de orientar decisiones de manejo relativas a suplementación, sanidad o ajustes en el sistema de empadre.

En conjunto, la sección Diagnósticos actúa como el nexo entre el servicio y el nacimiento, transformando la información clínica en datos operativos que alimentan los módulos subsiguientes del sistema. De esta manera, contribuye a mantener la coherencia del registro histórico y a fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia actualizada y validada.

3.3.6 Terneros

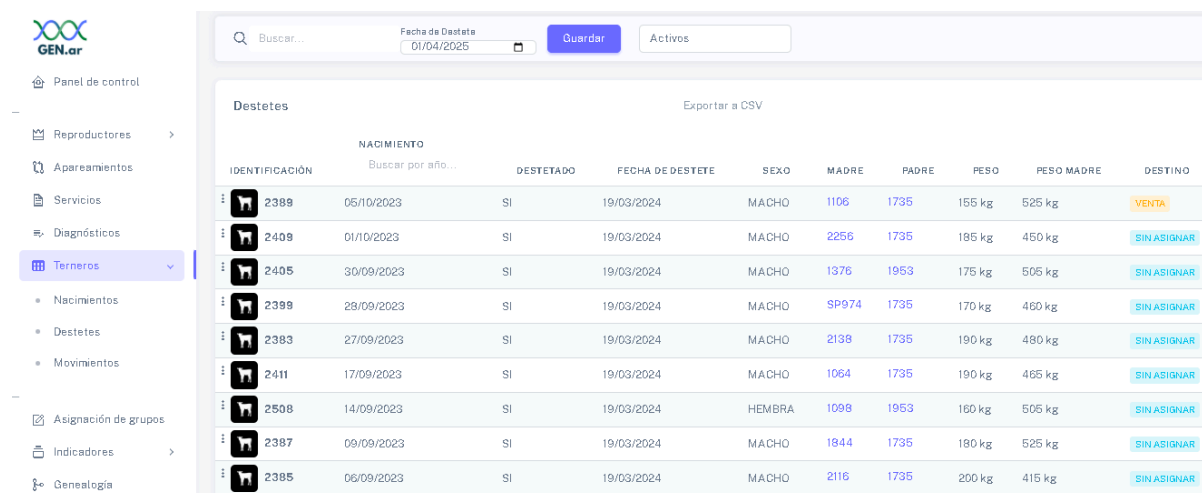
La sección Terneros permite crear, gestionar y actualizar los registros individuales de cada cría nacida dentro del establecimiento. Este módulo constituye un componente esencial para garantizar la trazabilidad completa del ciclo reproductivo, ya que vincula de forma directa el nacimiento con los datos de la madre, el padre y el servicio que dio origen al animal.

El registro incluye información fundamental como la fecha de nacimiento, el peso al nacer, el peso al destete, la identificación de la madre y el padre, y cualquier observación relevante (defectos congénitos, problemas en el parto, dificultades de amamantamiento, entre otros). Al centralizar estos datos, el sistema permite evaluar el desempeño individual desde el inicio de la vida productiva del ternero y facilita la detección temprana de patrones o problemas productivos.

Además, el módulo habilita la carga del evento de destete, momento en el cual el sistema solicita clasificar cada ternero en dos categorías operativas: reposiciones (aquellos que permanecerán en el rodeo como futuros reproductores) o ventas (animales destinados a comercialización). Esta clasificación es fundamental para análisis económicos y de planificación interna, ya que determina la composición futura del rodeo y el flujo de ingresos del establecimiento.

La estructura de este módulo facilita tanto la trazabilidad como el análisis productivo de la progenie, permitiendo calcular indicadores derivados como peso al destete promedio por madre, eficiencia maternal, crecimiento individual, y rendimiento comparado entre cohortes o líneas familiares. Asimismo, cada ternero queda automáticamente integrado al árbol genealógico del sistema, lo que permite evaluar la consistencia genética del rodeo y estudiar la transmisión de características entre generaciones.

En otras palabras, la sección Terneros actúa como el puente entre el diagnóstico de preñez y la evaluación productiva, consolidando la información necesaria para un seguimiento completo del desempeño de la progenie y para la construcción de indicadores clave a nivel individual y poblacional.



Destetes		Exportar a CSV							
IDENTIFICACIÓN	NACIMIENTO	DESTETADO	FECHA DE DESTETE	SEXO	MADRE	PADRE	PESO	PESO MADRE	DESTINO
2388	05/10/2023	SI	19/03/2024	MACHO	1106	1735	155 kg	525 kg	VENTA
2409	01/10/2023	SI	19/03/2024	MACHO	2256	1735	185 kg	450 kg	SIN ASIGNAR
2405	30/09/2023	SI	19/03/2024	MACHO	1376	1953	175 kg	505 kg	SIN ASIGNAR
2399	28/09/2023	SI	19/03/2024	MACHO	SP974	1735	170 kg	460 kg	SIN ASIGNAR
2383	27/09/2023	SI	19/03/2024	MACHO	2138	1735	190 kg	480 kg	SIN ASIGNAR
2411	17/09/2023	SI	19/03/2024	MACHO	1064	1735	190 kg	465 kg	SIN ASIGNAR
2508	14/09/2023	SI	19/03/2024	HEMBRA	1098	1953	160 kg	505 kg	SIN ASIGNAR
2387	09/09/2023	SI	19/03/2024	MACHO	1844	1735	180 kg	525 kg	SIN ASIGNAR
2385	06/09/2023	SI	19/03/2024	MACHO	2116	1735	200 kg	415 kg	SIN ASIGNAR

Figura 6. Vista final del módulo Destetes

3.3.7 Asignación de grupos

La sección Asignación de grupos brinda la posibilidad de organizar los animales en lotes operativos, ya sea en función de su categoría (vaquillonas, vacas, toros, terneros), su estado reproductivo, su condición corporal, el tipo de manejo o el destino productivo asignado. Este módulo cumple una función central en la administración diaria del rodeo, ya que permite estructurar la población animal de manera dinámica y adaptada a las necesidades de cada período productivo.

El sistema permite crear grupos personalizados y asignar animales mediante criterios automáticos o selección manual. De este modo, es posible conformar lotes para tacto, destete, servicio, suplementación, recría, ventas o cualquier otra actividad operativa. Cada lote queda registrado dentro del sistema con su composición actual y su historial de movimientos, lo que facilita el control interno y la trazabilidad de las decisiones de manejo.

La capacidad de agrupar animales contribuye a simplificar la organización del rodeo, permitiendo visualizar rápidamente cuántos individuos integran cada lote, cuáles son sus características productivas o reproductivas, y cómo evoluciona su desempeño en el tiempo. Asimismo, el módulo permite identificar inconsistencias, como animales ubicados en lotes

incorrectos o movimientos no registrados, alertando al usuario y mejorando la precisión del sistema.

Esta funcionalidad también favorece un seguimiento más eficiente de los movimientos, ya que cada traslado queda documentado dentro del sistema y vinculado a la ficha individual del animal. Esto facilita la planificación de tareas, la asignación de recursos y el análisis comparativo entre distintos grupos, brindando información valiosa para la toma de decisiones estratégicas.

3.3.8 Indicadores

La sección Indicadores concentra todos los cálculos automáticos generados por el sistema a partir de la información cargada en los módulos anteriores. Este componente constituye el núcleo analítico del software, ya que transforma los registros reproductivos, productivos y genealógicos del rodeo en métricas objetivas que permiten evaluar el desempeño del establecimiento y orientar la toma de decisiones basada en datos.

Entre los indicadores disponibles se incluyen parámetros fundamentales como la eficiencia materna, el coeficiente de fertilidad, el intervalo entre partos, la edad al primer parto, la longitud de vida productiva, los kilogramos producidos por vaca a lo largo de su vida reproductiva, la tasa de reposición necesaria y otras métricas reproductivas clave. Estos valores se actualizan automáticamente cada vez que se modifica o incorpora información en el sistema, asegurando que el productor disponga de datos precisos y permanentemente actualizados.

La sección también integra indicadores a nivel poblacional, permitiendo analizar la situación del rodeo en su conjunto. Entre ellos se encuentran el porcentaje de preñez, el porcentaje de destete, las pérdidas entre servicio y diagnóstico, la eficiencia por categoría, la distribución de edades, el tamaño efectivo poblacional (N_e) y otros parámetros que permiten evaluar tendencias y detectar desvíos en el sistema productivo.

Este módulo materializa el objetivo central del software: convertir grandes volúmenes de datos dispersos en información clara, comparable y accionable. A través de gráficos, cuadros y resúmenes numéricos, el sistema facilita la interpretación de patrones reproductivos, el análisis del desempeño de las madres y la identificación de animales sobresalientes o problemáticos. Asimismo, permite comparar cohortes, líneas familiares, períodos reproductivos y estrategias de manejo, habilitando una mejora continua basada en evidencia.

Los indicadores no solo tienen valor operativo, sino también científico, ya que permiten generar información consistente para estudios zootécnicos, evaluaciones genéticas o análisis longitudinales del rodeo. En este sentido, la sección funciona como un puente entre la gestión diaria y la investigación académica, integrando ambos enfoques en un mismo entorno digital.

3.3.9 Genealogía

La sección Genealogía presenta la estructura familiar completa del rodeo, permitiendo visualizar de manera clara y jerarquizada las relaciones de parentesco entre los animales. Esta herramienta integra la información genealógica registrada en el sistema (madre, padre, abuelos y líneas ascendentes) y la organiza en un formato gráfico o tabular que facilita la interpretación de los vínculos familiares y el origen de cada línea genética dentro del establecimiento.

La funcionalidad es esencial para la gestión genética del rodeo, ya que permite identificar rápidamente qué animales comparten ascendencia, cuáles son las líneas maternas y paternas predominantes y cómo se distribuyen los aportes genéticos entre generaciones. Esto ayuda a detectar de manera temprana acumulación de parentescos, potenciales cuellos de botella genéticos y desbalances en la contribución de determinados reproductores.

Asimismo, la sección Genealogía constituye una herramienta clave para el control de consanguinidad, permitiendo identificar empadres indeseados o riesgosos antes de que ocurran. La visualización de las relaciones familiares facilita la planificación de futuros apareamientos, ya sea para evitar incrementos en el coeficiente de consanguinidad, para diversificar líneas genéticas o para consolidar características deseadas en determinadas familias.

Esta herramienta también aporta valor para la toma de decisiones a mediano y largo plazo, ya que permite evaluar trayectorias familiares, estudiar el desempeño histórico de determinadas líneas y seleccionar reproductores en función de su impacto genético real dentro del rodeo. En sistemas como el del Bovino Criollo Argentino, donde la conservación y la variabilidad genética son prioritarias, esta funcionalidad adquiere una importancia estratégica.

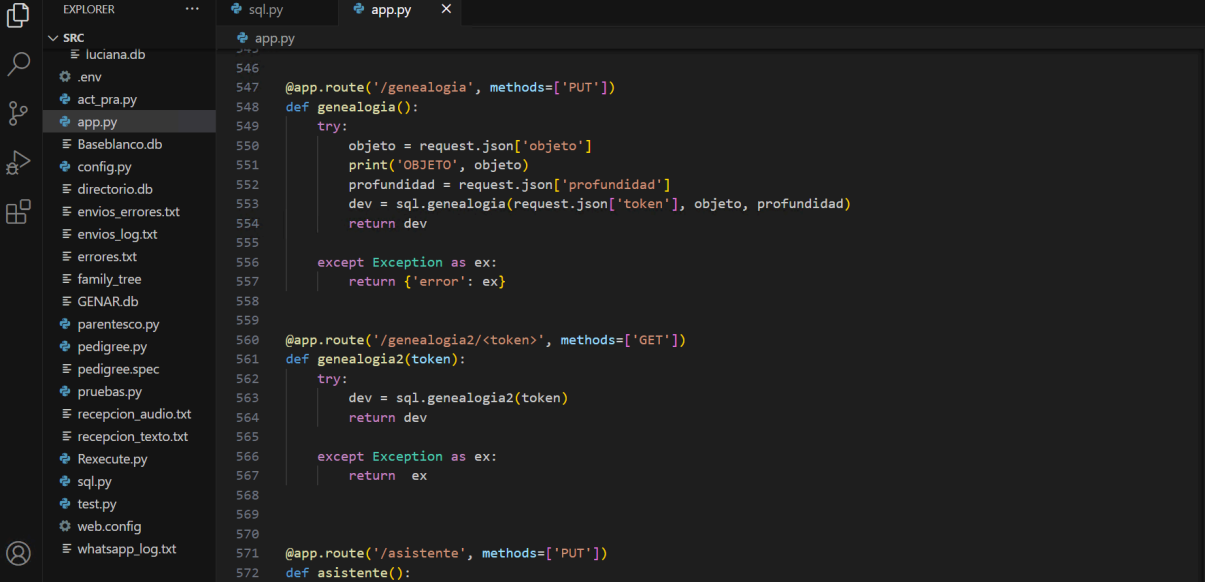
3.4. Desarrollo de software

El desarrollo del software se llevó a cabo mediante una arquitectura modular compuesta por tres infraestructuras esenciales: el Backend, la base de datos y el Frontend. Estas capas funcionan de manera integrada para brindar una experiencia de usuario fluida, eficiente y escalable, permitiendo que el sistema procese grandes volúmenes de información reproductiva y productiva, y ejecute operaciones complejas sin comprometer el rendimiento ni la estabilidad del entorno digital.

Cada una de estas infraestructuras cumple un rol específico dentro del funcionamiento general del sistema, formando un flujo coherente desde la captura de datos hasta su visualización e interpretación. El modelo arquitectónico adoptado busca garantizar robustez técnica, flexibilidad para futuras expansiones y una interacción clara entre los distintos componentes. A continuación, se describe en detalle la función y los aportes de cada capa dentro del sistema.

3.4.1 Backend

El *Backend* constituye el núcleo operativo del sistema, ya que gestiona la lógica interna, coordina el flujo de información entre las distintas capas y ejecuta los cálculos necesarios para generar los indicadores reproductivos, productivos y genealógicos del rodeo. Está desarrollado principalmente en *Python*, lenguaje elegido por su versatilidad, su amplia disponibilidad de librerías científicas y su capacidad para manejar volúmenes significativos de datos de forma eficiente.



```

546
547 @app.route('/genealogia', methods=['PUT'])
548 def genealogia():
549     try:
550         objeto = request.json['objeto']
551         print('OBJETO', objeto)
552         profundidad = request.json['profundidad']
553         dev = sql.genealogia(request.json['token'], objeto, profundidad)
554         return dev
555
556     except Exception as ex:
557         return {'error': ex}
558
559
560 @app.route('/genealogia2/<token>', methods=['GET'])
561 def genealogia2(token):
562     try:
563         dev = sql.genealogia2(token)
564         return dev
565
566     except Exception as ex:
567         return ex
568
569
570
571 @app.route('/asistente', methods=['PUT'])
572 def asistente():

```

Figura 7. Fragmento de código en el cual se reciben las peticiones del sitio web (frontend)

Dentro del *Backend* se procesan todas las solicitudes provenientes del usuario. Esto incluye consultas, filtros, creación o modificación de registros, cálculos automáticos, validaciones internas y generación de respuestas estructuradas. Algunos cálculos específicos, como el análisis de consanguinidad, genealogías complejas o métricas poblacionales avanzadas, se resolvieron mediante librerías importadas al código, las cuales integran funciones escritas en R, permitiendo combinar la flexibilidad de *Python* con la potencia estadística del ecosistema R.

La comunicación entre el *Backend* y el *Frontend* se lleva a cabo mediante una *API Rest*, implementada con el microframework Flask. Esta API recibe las solicitudes enviadas por el

usuario, interpreta los parámetros, consulta y procesa la información, y finalmente devuelve las respuestas en formato JSON, estandarizando la comunicación y facilitando la interoperabilidad entre capas.

La arquitectura interna del *Backend* se organiza en dos archivos principales:

- App.py, encargado de administrar las peticiones del *Frontend*, coordinar las rutas de la API, gestionar la comunicación con la base de datos y estructurar las respuestas. Actúa como “puente” entre la interacción del usuario y la lógica del sistema.
- Sql.py, que contiene todas las funciones responsables de consultar, filtrar y procesar datos dentro de la base de datos. Aquí residen las sentencias SQL, las validaciones, las operaciones de limpieza, las rutinas de cálculo y la preparación de la información que luego será utilizada en los módulos del sistema.

En conjunto con la base de datos, el *Backend* cumple un rol decisivo dentro de la arquitectura: recibe las solicitudes del usuario, procesa la información, ejecuta cálculos automáticos y devuelve resultados listos para ser visualizados en el *Frontend*. Gracias a esta estructura modular, el sistema puede mantenerse escalable, ordenado y eficiente, permitiendo incorporar nuevos módulos o indicadores sin alterar la estabilidad del entorno.

3.4.2 Frontend

El *Frontend* constituye la capa visible del sistema y es la interfaz mediante la cual el usuario interactúa con todas las funcionalidades del software. Su diseño se orientó a lograr una experiencia de uso clara, intuitiva y eficiente, permitiendo que productores y técnicos puedan acceder a la información del rodeo sin necesidad de conocimientos avanzados en informática.


```

js > loginjs > ready() callback > click() callback
1 function getRandomInt(max) {
2   return Math.floor(Math.random() * max);
3 }
4
5 var numero = getRandomInt(5)
6 document.body.style.backgroundColor = 'url(/images/fondos/45.png)';
7
8 window.addEventListener('DOMContentLoaded',
9   function () {
10    console.log('El DOM esta listo!');
11  })
12
13 $(document).ready(function () {
14   let xhr2 = new XMLHttpRequest();
15
16   $("#ingreso").click(() => {
17     let json2 = JSON.stringify({
18       email: ($("#email").val()).toLowerCase(),
19       clave: ($("#password").val())
20     });
21
22     xhr2.open("POST", 'https://genar.online/user')
23     xhr2.setRequestHeader('Content-type', 'application/json; charset=utf-8');
24
25     xhr2.send(json2);
26
27     xhr2.onload = function () {
28       var json = JSON.parse(xhr2.response);
29       console.log(json.mensaje)

```

Figura 8. Fragmento de código Javascript encargado del inicio de sesión del usuario

El desarrollo del *Frontend* se realizó utilizando HTML, CSS y JavaScript, tecnologías que permiten estructurar, presentar e interpretar dinámicamente los datos provenientes del Backend:

- HTML define la estructura general de cada página, organizando los elementos de la interfaz, los formularios, las tablas, los paneles informativos y los contenedores donde se visualizarán los datos.
- CSS gestiona el diseño visual del sistema, incluyendo colores, tipografías, distribución espacial, jerarquía de la información y adaptación a distintos tamaños de pantalla. Esto garantiza una presentación visual coherente, ordenada y accesible.
- JavaScript cumple un rol clave al permitir la interacción dinámica con el sistema.

Mediante funciones asíncronas, gestiona la comunicación con la API Rest desarrollada en *Python*, enviando solicitudes y recibiendo datos en formato JSON. Esto permite actualizar la información en pantalla sin necesidad de recargar la página completa ("renderizado dinámico"), lo que mejora notablemente la fluidez de la navegación.

Además, se integró jQuery para simplificar tareas frecuentes como manipulación del DOM, gestión de eventos y animaciones, optimizando el tiempo de respuesta y reduciendo la complejidad del código. Esta integración permite que el usuario pueda:

- navegar entre módulos de manera fluida;
- cargar o modificar registros sin interrupciones;
- visualizar gráficos, tablas e indicadores actualizados en tiempo real;
- acceder a la información más relevante con la mínima cantidad de clics.

El *Frontend* funciona como un componente esencial para garantizar la usabilidad, y la adopción tecnológica por parte del usuario final. Su diseño prioriza la simplicidad visual, la claridad de los elementos y la fluidez de la interacción, alineándose con el propósito general del software: transformar la gestión del rodeo en un proceso ordenado, accesible y apoyado en datos confiables.

En conjunto, el Backend, la base de datos y el Frontend conforman un sistema integral y robusto, diseñado para manejar grandes volúmenes de información histórica y operativa sin perder rendimiento. La interacción coordinada entre estas tres capas permite ejecutar cálculos complejos, garantizar la integridad y trazabilidad de los datos y presentar los resultados de manera clara, accesible y orientada a la toma de decisiones.

Mientras la base de datos asegura la organización estructurada y la consistencia del registro histórico, el Backend procesa la lógica, ejecuta los algoritmos y prepara la información, y el Frontend la transforma en una interfaz comprensible, visual y fácil de usar. Esta arquitectura convierte décadas de datos dispersos en un sistema funcional, escalable y adaptable, capaz de mejorar significativamente la gestión del rodeo y potenciar la eficiencia productiva del establecimiento.

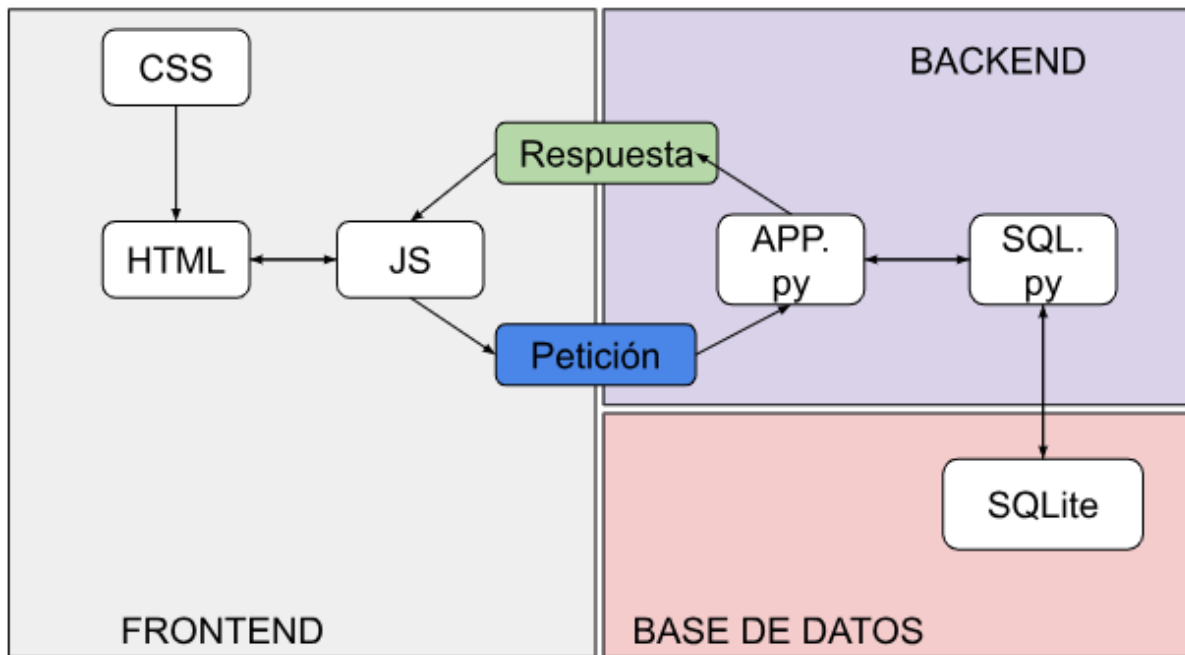


Figura 9. Estructura general del software

3.5 Obtención de indicadores productivos y genéticos

Finalmente, una vez depurada y organizada toda la información, se procedió a ejecutar el software para procesar los datos y generar dos listados fundamentales para el análisis del rodeo:

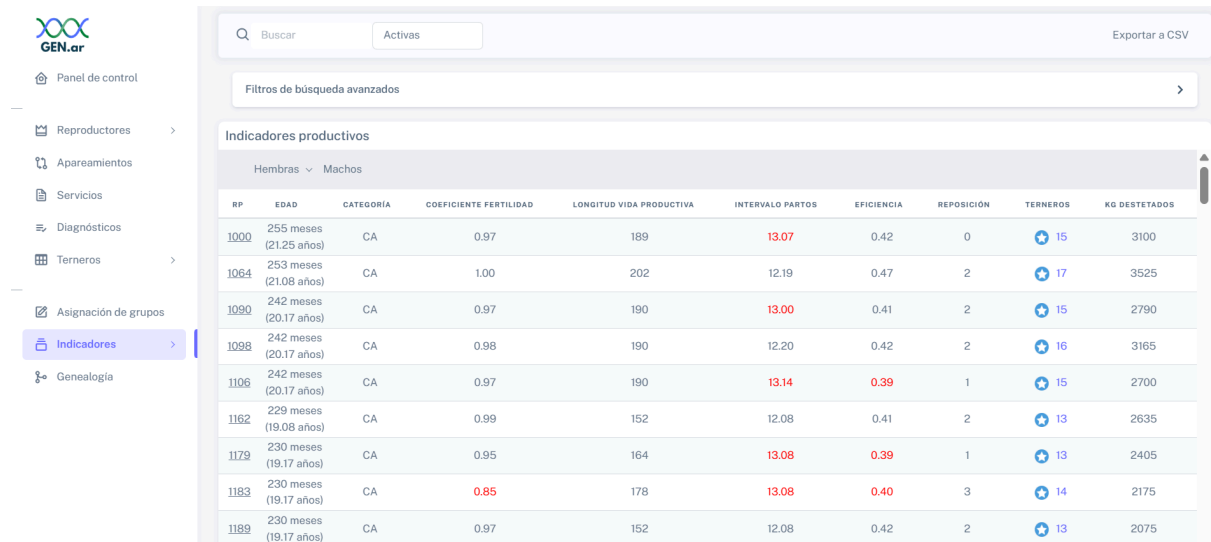
1. una lista de indicadores genéticos, que incluye los coeficientes de consanguinidad y las relaciones de parentesco entre individuos, y
2. una lista de indicadores productivos, calculados para cada madre y para el rodeo en su conjunto.

El cálculo automatizado de estos indicadores permitió transformar registros históricos en información estructurada y comparable. Los parámetros productivos obtenidos fueron los siguientes:

- Longitud de vida productiva: período en meses comprendido entre el primer servicio y el último destete registrado para cada vaca. Este indicador permite evaluar la duración real de la vida útil reproductiva de cada madre y su contribución al rodeo.

- Intervalo entre partos: tiempo, también en meses, transcurrido entre dos partos consecutivos. Se analizaron tanto los valores puntuales como el promedio individual, lo cual permite identificar variaciones debido a factores nutricionales, sanitarios o genéticos.
- Eficiencia materna: relación entre el peso del ternero al destete y el peso de la madre al momento del destete. Este indicador sintetiza la capacidad de la vaca para convertir recursos en producción de carne, integrando aspectos de maternidad, lactancia y adaptación.
- Coeficiente de fertilidad: relación entre los meses destinados a gestación y lactancia respecto de la edad total de la madre en meses, descontando los meses necesarios para alcanzar el primer servicio. Este índice permite cuantificar la proporción de la vida reproductiva que la vaca ha utilizado de manera efectiva.
- Número de terneros: cantidad total de crías producidas por cada madre hasta el momento de la consulta, lo cual facilita comparar líneas maternas y estimar la productividad acumulada.
- Producción total de carne: sumatoria de todos los kilogramos destetados por cada vaca, representando su aporte directo al sistema productivo del establecimiento.

La obtención de estos resultados permitió realizar una caracterización integral del desempeño del rodeo, tanto desde la perspectiva productiva como genética. La sistematización automática de los registros posibilitó detectar patrones reproductivos, evaluar diferencias entre individuos o grupos, y reconocer posibles cuellos de botella relacionados con fertilidad, eficiencia biológica o longevidad.



RP	EDAD	CATEGORÍA	COEFICIENTE FERTILIDAD	LONGITUD VIDA PRODUCTIVA	INTERVALO PARTOS	EFICIENCIA	REPOSICIÓN	TERNEROS	KG DESTETADOS
1000	255 meses (21.25 años)	CA	0.97	189	13.07	0.42	0	15	3100
1064	253 meses (21.08 años)	CA	1.00	202	12.19	0.47	2	17	3525
1090	242 meses (20.17 años)	CA	0.97	190	13.00	0.41	2	15	2790
1098	242 meses (20.17 años)	CA	0.98	190	12.20	0.42	2	16	3165
1106	242 meses (20.17 años)	CA	0.97	190	13.14	0.39	1	15	2700
1162	229 meses (19.08 años)	CA	0.99	152	12.08	0.41	2	13	2635
1179	230 meses (19.17 años)	CA	0.95	164	13.08	0.39	1	13	2405
1183	230 meses (19.17 años)	CA	0.85	178	13.08	0.40	3	14	2175
1189	230 meses (19.17 años)	CA	0.97	152	12.08	0.42	2	13	2075

Figura 10. Aspecto del software en el módulo de Indicadores Productivos

Además, a partir de estos indicadores se incorporó un módulo de predicción del número de terneros y de los kilos destetados futuros mediante técnicas de *machine learning*. Para ello se construyó una base de datos estructurada por vaca que integró, como variables explicativas, el coeficiente de fertilidad (CF), el intervalo entre partos (IP), la eficiencia materna (EM), el índice de consanguinidad (IBD), el peso del ternero al destete y el estado actual del animal. Como variables objetivo se consideraron la cantidad total de crías producidas y los kilogramos de carne destetados por cada madre. El modelo se implementó en *Python* utilizando la librería *scikit-learn*, mediante un *Random Forest Regressor* multisalida, lo que permite predecir simultáneamente el número de terneros futuros y la producción total de kilos proyectados.

El conjunto de datos se dividió en entrenamiento y prueba (80/20), evaluando su desempeño con métricas de regresión (R^2 , MAE y RMSE). Una vez validado, el modelo se aplicó sobre las vacas activas del rodeo, generando para cada individuo una estimación de su potencial reproductivo y productivo futuro. Los resultados se almacenaron automáticamente en la base de datos, lo que permite calcular indicadores derivados, como

la probabilidad de que cada vaca produzca más de 4 o más de 8 terneros adicionales, así como la proyección de kilos destetados durante el resto de su vida útil.

Paralelamente, para facilitar la interpretación por parte del productor, el desempeño histórico de cada madre se sintetizó en una calificación visual por estrellas.

Para ello se ordenó la distribución de cantidad de terneros destetados por vaca y se la dividió en cuartiles: las vacas ubicadas en el 25 % inferior reciben una estrella y las del 25 % superior, cuatro estrellas, con categorías intermedias para los cuartiles restantes. De esta forma, el panel de indicadores combina la trayectoria productiva observada (número de terneros y kilos destetados) con las proyecciones futuras y su clasificación relativa dentro del rodeo, ofreciendo una herramienta clara para priorizar vientres en las decisiones de selección, retención o descarte.

Indicadores productivos								
Hembras ▾ Machos								
RP	EDAD	TERNEROS	CRÍAS MADRE	PROYECCIÓN TERNEROS AI➤	KG DESTETADOS	PROYECCIÓN KG AI➤	PROBABILIDAD +4T AI➤	PROBABILIDAD +8T AI➤
1000	255 meses (21.25 años)	★ 15	★★★★☆ 7	13.44	3100	2565.40	100%	100%
1064	253 meses (21.08 años)	★ 17	★★★★★ 6	14.64	3525	2970.25	100%	100%
1090	242 meses (20.17 años)	★ 15	★★★★☆ 6	12.58	2790	2322.55	100%	100%
1098	242 meses (20.17 años)	★ 16	★★★★☆ 17	13.5	3165	2573.57	100%	100%
1106	242 meses (20.17 años)	★ 15	★★★★★ 6	14.35	2700	2604.95	100%	100%
1162	229 meses (19.08 años)	★ 13	★★★★★ 5	12.77	2635	2499.46	100%	100%
1179	230 meses (19.17 años)	★ 13	★★★★☆ 7	12.73	2405	2367.45	100%	100%
1183	230 meses (19.17 años)	★ 14	★★★★☆ 14	6.7	2175	1120.40	100%	3%
1189	230 meses (19.17 años)	★ 13	★★★★☆ 12	12.21	2075	2022.70	100%	100%

Figura 11. Módulo de Predicciones utilizando Inteligencia Artificial

Por otro lado, se conformó un sistema automatizado de seguimiento individual, para tener más conocimientos acerca del rendimiento que tuvo cada vaca a lo largo de su vida. Esto incluye una línea cronológica con los nacimientos, diagnósticos, y pariciones, sumado a un gráfico lineal que categoriza cada parto como Cabeza, Cuerpo o Cola según el mes de nacimiento de sus terneros.

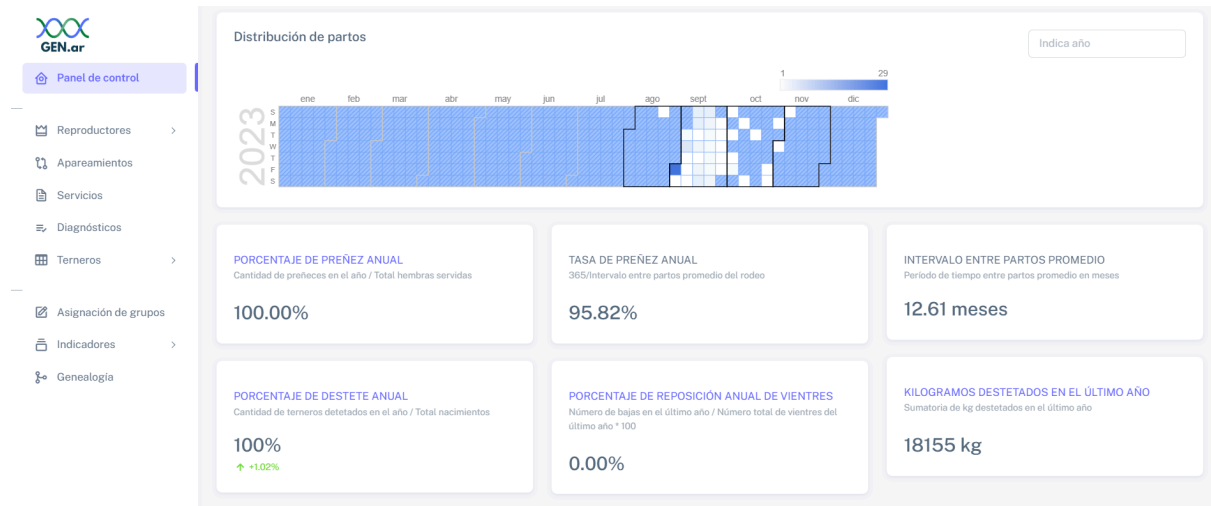


Figura 13. Panel de Control

En primer lugar, el sistema logró calcular correctamente los indicadores reproductivos fundamentales. La tasa de preñez anual obtenida fue del 95,82%, un valor elevado que refleja un manejo reproductivo eficiente y un rodeo con adecuada capacidad de recuperación entre ciclos. Este rendimiento se vincula con un intervalo entre partos promedio de 12,61 meses, valor considerado óptimo para maximizar la productividad en sistemas de cría. La combinación de ambos indicadores (porcentaje de preñez e intervalo entre partos) proporciona una visión integral del desempeño reproductivo y permite identificar posibles ajustes para mantener o mejorar estos niveles en el tiempo.

En cuanto a la producción de carne, el software estimó que los kilogramos destetados durante el último año alcanzaron 18.155 kg. Si bien esta cifra se ubica aproximadamente 200 kg por debajo de lo registrado en 2023, continúa siendo superior en alrededor de 1.500 kg respecto a los años anteriores, lo que evidencia una tendencia favorable en la eficiencia productiva. Este tipo de análisis facilita la identificación de variaciones interanuales, permitiendo al productor evaluar el impacto de factores nutricionales, sanitarios o de manejo sobre el rendimiento general del rodeo.

Respecto a los indicadores genéticos, la consanguinidad promedio calculada para la población fue del 0%, lo que indica ausencia de endogamia en el rodeo durante el período

analizado. No obstante, el tamaño efectivo poblacional (N_e), estimado en 26,39, se encuentra por debajo del máximo histórico registrado en 2010 (45,62), mostrando una tendencia descendente en los últimos años. El análisis sugiere que esta reducción se debe principalmente a la baja proporción de machos utilizados en reproducción, lo cual limita la contribución genética y reduce la variabilidad futura del rodeo. Además, el software estimó que, de mantenerse la estructura reproductiva actual, la consanguinidad podría aumentar aproximadamente un 2% por generación, lo que representa un riesgo potencial para la continuidad genética del plantel.

Estos resultados demuestran la capacidad del sistema para integrar información histórica, calcular indicadores precisos y ofrecer interpretaciones aplicables al manejo diario. La identificación de tendencias productivas, posibles cuellos de botella reproductivos y riesgos genéticos permite fundamentar estrategias de selección, decisiones de incorporación de nuevos reproductores y ajustes en el manejo que contribuyan a la sostenibilidad y eficiencia del establecimiento en el mediano y largo plazo.

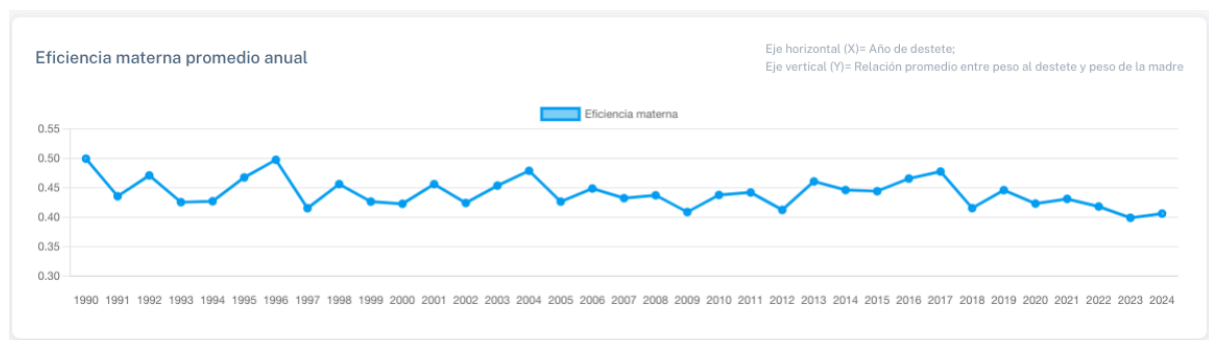


Figura 14. Eficiencia Materna visualizada en Panel de Control

En cuanto a los indicadores individuales por madre, la eficiencia materna correspondiente al año 2024 fue de 0,407, un valor que, si bien continúa ubicándose en un rango relativamente bajo para sistemas de cría, muestra una leve mejora respecto del año anterior. Este indicador refleja la relación entre el peso del ternero destetado y el peso vivo de la madre, por lo que resulta especialmente útil para evaluar la capacidad biológica de cada vaca para transformar recursos en producción de carne.

La mejora observada, aunque incipiente, constituye una señal positiva y orienta al productor a profundizar en estrategias de selección, favoreciendo a aquellas madres que presentan una mayor eficiencia relativa. Del mismo modo, sugiere la necesidad de revisar y ajustar aspectos del manejo nutricional, especialmente en momentos clave como la gestación, el parto y la lactancia, con el fin de mejorar la relación entre la oferta de energía y el desempeño productivo de cada madre.

En conjunto, este indicador aporta una herramienta para identificar vacas de alto y bajo rendimiento, optimizar la reposición interna y delinear decisiones de manejo que contribuyan a mejorar la eficiencia biológica y económica del rodeo a mediano plazo.

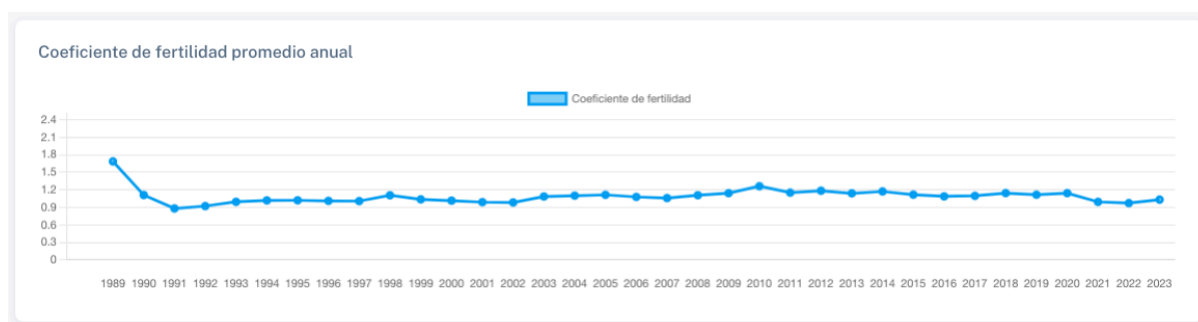


Figura 15. Coeficiente de Fertilidad visualizado en Panel de Control

El coeficiente de fertilidad también mostró una notable estabilidad a lo largo del tiempo, alcanzando un valor de 1,031 en los últimos partos analizados. Este indicador resume la proporción de la vida reproductiva de la vaca utilizada de manera efectiva en gestación y lactancia, descontando el período previo al primer servicio. Un valor cercano a 1 indica un uso eficiente del tiempo biológico disponible, lo cual se alinea con el buen desempeño reproductivo reflejado en otros parámetros del rodeo. No obstante, su monitorización continua es indispensable para anticipar posibles fluctuaciones asociadas al manejo, la nutrición o la estructura poblacional, y para implementar decisiones preventivas de manera oportuna.

Por otro lado, algunos indicadores, entre ellos el porcentaje de preñez y el porcentaje de destete, no pudieron ser calculados con precisión debido a que el establecimiento únicamente contaba con registros de terneros vendidos o destinados a reposición. Como consecuencia, el número de destetes coincide numéricamente con el de servicios productivos y el sistema asigna un valor del 100%, lo que impide interpretar correctamente la eficiencia reproductiva real. Se constató que, si estos datos estuvieran disponibles, el software podría realizar los cálculos de forma automática y precisa; por ello se recomendó al productor registrar los datos completos de preñez y destete en la próxima campaña, lo que permitirá obtener indicadores más robustos y representativos.

En cuanto a las proyecciones utilizando inteligencia artificial, el modelo estima que el rodeo se mantendría en niveles productivos similares a los históricos, con mejoras graduales en una proporción de las vacas. En términos prácticos, la predicción no plantea saltos bruscos en cantidad de terneros ni en kilogramos destetados, sino ajustes moderados acorde a la capacidad biológica de cada animal. Las vacas de bajo rendimiento tienden a mostrar aumentos proyectados, mientras que las de rendimiento muy alto presentan valores futuros algo más contenidos, evitando sobreestimar su respuesta.

Esto implica que el rendimiento esperado por vaca se estabiliza alrededor de su desempeño promedio de largo plazo, con incrementos puntuales en aquellos animales que cuentan con margen de mejora. En los casos con mayor potencial, el modelo anticipa una mayor probabilidad de sostener producciones altas de terneros y kilogramos destetados, mientras que en las vacas con historial más limitado se proyectan rendimientos acordes a su desempeño pasado, con escasa probabilidad de alcanzar escenarios productivos exigentes.

En conjunto, los resultados obtenidos permitieron interpretar con claridad el estado actual del rodeo en sus dimensiones reproductiva, productiva y genética. La información generada evidencia fortalezas importantes, como la alta tasa de preñez, la estabilidad del coeficiente de fertilidad y un buen rendimiento productivo en términos de kilos destetados. Al mismo

tiempo, facilita la identificación de áreas de mejora, entre ellas el tamaño efectivo poblacional y la eficiencia materna, aspectos que inciden directamente en la sustentabilidad genética y económica del sistema. De este modo, el software cumple con los objetivos planteados: producir indicadores confiables, integrarlos en un sistema unificado y transformar información histórica en una herramienta concreta de gestión para el establecimiento.

Durante la implementación se requirió brindar asistencia adicional al productor, especialmente en las primeras etapas de carga y uso del sistema. La falta de experiencia previa en herramientas digitales hacía necesaria una guía para comprender el funcionamiento de la plataforma, la lógica de los formularios y la importancia de mantener los registros actualizados. A medida que avanzó el proceso, se observó una creciente familiaridad con la interfaz, así como una mayor fluidez y autonomía en la carga de datos. Este acompañamiento inicial resultó fundamental, ya que la calidad y continuidad de los registros dependen directamente de la confianza y seguridad del usuario para operar el software.

Finalmente, el desarrollo fue registrado formalmente siguiendo los lineamientos correspondientes, garantizando su protección intelectual y su reconocimiento como herramienta original generada en el marco de este trabajo. Este registro no solo respalda la autoría del sistema, sino que también habilita futuras mejoras, implementaciones y potenciales instancias de transferencia tecnológica hacia productores, asociaciones o instituciones interesadas en avanzar hacia la digitalización de la gestión ganadera.

5. PROPUESTA DE MEJORA

A partir del proceso de sistematización realizado y de los resultados obtenidos, se identificaron diversas oportunidades para avanzar hacia una gestión más eficiente, sostenible y alineada con las demandas actuales de la ganadería de cría. La propuesta de mejora que se presenta a continuación, constituye una instancia superadora respecto de la

situación inicial, integrando criterios técnicos, productivos, informáticos y de gestión, en consonancia con los aprendizajes adquiridos a lo largo de la carrera.

Una de las principales cuestiones, fue detectar la necesidad de acompañamiento para que el productor se familiarizara con el uso del software. Para revertir esta situación, se propone implementar un protocolo anual de carga de datos, acompañado de instancias periódicas de capacitación práctica sobre el uso de la herramienta digital. El objetivo es que el productor logre un uso autónomo y seguro de la aplicación, asegurando la continuidad, coherencia y calidad de la información registrada. La mejora en los registros permitirá que los indicadores se calculen con mayor precisión y que la gestión del rodeo evolucione hacia un proceso más predictivo y menos reactivo.

Los datos procesados permitieron al productor acceder, por primera vez, a una visión clara, ordenada y objetiva del desempeño real de su rodeo. La sistematización de la información facilitó la identificación de tendencias reproductivas, productivas y genéticas que previamente resultaban difíciles de evaluar debido a la dispersión de los registros.

En el plano genético, el tamaño efectivo poblacional ($N_e = 26,39$) indicó riesgo de pérdida de variabilidad genética. Para reducir la probabilidad de incrementos futuros de consanguinidad, especialmente considerando la proyección del 2% por generación, se recomienda:

- Incorporar reproductores no emparentados, fortaleciendo la base genética del rodeo.
- Rotar toros en función de la genealogía disponible, evitando la concentración de aportes paternos.
- Utilizar el software como herramienta preventiva, evitando empadres entre parientes cercanos mediante alertas automáticas o filtros de selección.

Estas acciones contribuirán a la sostenibilidad genética del sistema, promoviendo diversidad, estabilidad y mayor longevidad productiva del plantel.

Respecto al desempeño biológico, la eficiencia materna observada (0,407) sugiere un margen considerable para avanzar hacia sistemas más eficientes y menos demandantes en términos nutricionales. Para mejorar este indicador, se propone:

- diseñar planes forrajeros ajustados a los picos de demanda energética;
- implementar suplementación estratégica preparto en vacas con condición corporal inadecuada;
- realizar monitoreos de condición corporal en momentos críticos (destete, servicio, inicio del último tercio de gestación).

Estas prácticas impactan directamente en el peso del ternero al destete, la salud de las madres y el rendimiento global del sistema, fortaleciendo la resiliencia productiva del rodeo.

En relación con el escenario regulatorio y las tendencias de mercado, y considerando la futura obligatoriedad de la identificación electrónica, una mejora estratégica consiste en integrar un sistema de lectura automática mediante caravanas RFID. Esta incorporación no solo aumentaría la precisión de los datos y facilitaría el cumplimiento de normativas, sino que también permitiría aprovechar al máximo la inversión y mejorar la transparencia del sistema productivo frente a auditorías o certificaciones.

Partiendo de esta base tecnológica, una instancia superadora consiste en avanzar hacia la automatización de la captura de datos, incorporando:

- balanzas electrónicas con transmisión inalámbrica,
- lectores fijos o portátiles de identificación electrónica,
- integración directa de ambas tecnologías con el software de gestión.

Con este esquema, cada registro de peso, evento reproductivo o movimiento sería cargado automáticamente, sin intervención manual, reduciendo errores humanos y acelerando el flujo de información dentro del sistema. La integración con balanzas inteligentes permitiría registrar pesos en tiempo real durante destetes, recrias o controles sanitarios, garantizando

actualizaciones inmediatas de los indicadores productivos. Del mismo modo, la instalación de lectores RFID en mangas, tranqueras o balanzas posibilitaría identificar animales en cuestión de segundos, vinculando automáticamente cada lectura con su historial digital.

Este nivel de automatización no solo optimiza la gestión diaria, sino que habilita nuevas posibilidades, entre ellas:

- seguimiento dinámico del crecimiento individual;
- detección temprana de desvíos productivos;
- trazabilidad automatizada y verificable;
- integración con otros algoritmos predictivos o modelos de inteligencia artificial (como el procesamiento de lenguaje artificial, mediante integración con WhatsApp API)

La propuesta de mejora plantea un camino gradual y realista hacia un sistema de gestión más preciso, moderno y adaptado a los desafíos de la ganadería actual, capitalizando la infraestructura digital desarrollada y proyectando futuras instancias de innovación tecnológica dentro del establecimiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

Carrillo, J. (1988). *Manejo de un Rodeo de Cría*. Editorial Hemisferio Sur.

Eastwood, C., Klerkx, L., Ayre, M., & Dela Rue, B. (2019). *Managing socio-ethical challenges in the development of smart farming: From a fragmented to a comprehensive approach for responsible research and innovation*. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32, 741–768. <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9704-5>

European Parliament. (2019). *The digitalisation of agriculture*. European Parliamentary Research Service.

FAO. (2019). *Digital innovations for sustainable agriculture and rural development*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ferrari, A. D., & Zapata, J. P. (2015). *Las TIC y su impacto en la producción ganadera* (Trabajo final de grado, Instituto Universitario Aeronáutico).

Obschatko, E., Aguirre, F., & Gómez, D. (2020). *Adopción de tecnología en el sector agropecuario argentino*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

McFadden, J., Casalini, F., Griffin, T., & Antón, J. (2022). *The digitalisation of agriculture: A literature review and emerging policy issues* (OECD Food, Agriculture and Fisheries Paper No. 176). OECD Publishing.

Secretaría de Asuntos Estratégicos. (2022). *Agtech: Transformación digital para la producción agropecuaria*. Gobierno de Argentina.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.J. (2017). *Big Data in smart farming – A review*. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>

