



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO DE UN MODELO INTELIGENTE BASADO EN APRENDIZAJE AUTOMÁTICO
PARA LA PREDICCIÓN DE ENFERMEDADES Y MEJORA DEL PROCESO DE
ATENCIÓN EN LA CLÍNICA VETERINARIA SIRA PETS**

**PROPUESTA DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTORES:

Chiluisa Gutiérrez Bryan Alexander

Perdomo Unaicho Ana Gabriela

TUTOR:

Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino MsC.

LATACUNGA, AGOSTO, 2026

Latacunga, agosto del 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Chiluisa Gutiérrez Bryan Alexander, con cedula de ciudadanía No. 0503735763 y Perdomo Unaicho Ana Gabriela, con cedula de ciudadanía No. 0504747973 declaramos ser autores del proyecto de titulación: “Diseño de un modelo inteligente basado en aprendizaje automático para la predicción de enfermedades y mejora del proceso de atención en la clínica veterinaria SIRA PETS”, siendo el Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.

Chiluisa Gutiérrez Bryan Alexander
CC.0503735763

Perdomo Unaicho Ana Gabriela
CC.0504747973

Latacunga, agosto del 2026

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “Diseño de un modelo inteligente basado en aprendizaje automático para la predicción de enfermedades y mejora del proceso de atención en la clínica veterinaria SIRA PETS”, propuesto por los estudiantes Chiluisa Gutiérrez Bryan Alexander, Perdomo Unaicho Ana Gabriela de la Carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino, MsC.
C.C. 1804710463
TUTOR

Latacunga, agosto del 2026

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título “Diseño de un modelo inteligente basado en aprendizaje automático para la predicción de enfermedades y mejora del proceso de atención en la clínica veterinaria SIRA PETS”, propuesto por los estudiantes Chiluisa Gutiérrez Bryan Alexander, Perdomo Unaicho Ana Gabriela de la Carrera de Ingeniería Industrial, nos permitimos indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad de **Proyecto de investigación** en virtud de lo cual los postulantes pueden presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



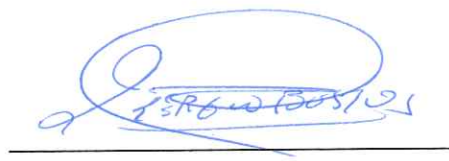
Lector 1 (Presidente)

Ing. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate, MsC.
CC: 0503257404



Lector 2

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas, MsC.
CC: 0502347768



Lector 3

Ing. Sergio Patricio Bustos Pulluquitin, MsC.
CC: 1804652525

AGRADECIMIENTO

Primeramente, con gratitud y dedicación a Dios y a la Virgen de la Merced, por permitirme salud, sabiduría y fortaleza en cada etapa, y darme la oportunidad de alcanzar una meta tan importante en mi vida.

Agradezco a mi madre, Patricia Gutiérrez por ser mi mayor motivación para luchar cada día, por ser el ejemplo de una mujer guerrera, que desde el principio estuvo presente porque siempre creyó en mí, cuando yo dudaba de mí mismo. Sin tus sacrificios, dedicación y esfuerzo, nada de esto sería posible. Este logro también es tuyo.

A mis hermanos, Cristian, Stalin y Anahí, por su compañía y palabras de aliento, han sido mi respaldo en cada etapa de este proceso.

A mis sobrinas, Dayana, Arleth y Monserrath, por llenar mis días de alegría, ternura y esperanza, en los momentos más estresantes y tristes.

A mi familia, abuelita, tíos, tías, cuñadas, primos y demás familiares, así como también a mis amigos. Gracias por su apoyo, sus palabras de aliento que fue importante a seguir adelante.

De manera especial, agradezco a mi tutor de tesis, Ing. José Naranjo, por su orientación y acompañamiento durante todo el proceso investigativo.

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, institución que me brindó la oportunidad de formarme académica y profesionalmente. Asimismo, expreso mi gratitud a todos los docentes que formaron parte de mi formación académica a lo largo de la carrera, quienes contribuyeron significativamente a mi crecimiento profesional.

Bryan Alexander Chiluisa Gutiérrez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este momento y por darme fuerzas para continuar cuando el camino se volvió difícil.

A mi padre, José, le expreso mi agradecimiento más profundo, porque ha sido uno de los pilares más importantes de mi vida y de este logro. Gracias por tu apoyo incondicional, por tu sacrificio, por tu esfuerzo diario y por preocuparte siempre por mi bienestar. Gracias por creer en mí, por impulsarme a seguir adelante. Este logro también es tuyo, porque detrás de cada paso que he dado ha estado tu apoyo constante.

A mi madre, María, por su apoyo, sus palabras de ánimo y su cariño durante este proceso. A mi hermano mayor, Santiago, por ser un ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y perseverancia, y por compartir conmigo sus conocimientos y consejos. A mi hermano menor, Luis, por su ayuda, su compañía y su cariño, y a mi cuñada, Jennifer, por aportar alegría a mi vida y a mi familia.

A mi compañero de tesis, Bryan, gracias por compartir este proceso, por el apoyo brindado y por el esfuerzo realizado para culminar juntos este proyecto.

De manera especial, expreso mi sincero agradecimiento a mi tutor, Ing. José Naranjo, por su orientación, paciencia y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por brindarme la oportunidad de formarme académica y profesionalmente, y a los docentes que contribuyeron con sus enseñanzas durante mi carrera.

Finalmente, agradezco a la clínica veterinaria SIRA PETS por abrirnos sus puertas, por la confianza brindada y por permitirnos desarrollar este proyecto con su apoyo y colaboración.

Ana Gabriela Perdomo Unaicho

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a Dios y a la Virgen de la Merced, por iluminar mi camino y darme la oportunidad de alcanzar una meta tan importante en mi vida.

De igual manera, a toda mi familia, en especial a mi querida madre, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional a lo largo de mi vida y en cada paso de mi formación.

A mi abuelito, aunque hoy no esté físicamente conmigo, sé que desde el cielo continúa cuidándome, guiándome y creyendo en mí, me duele profundamente no poder compartir este logro a su lado, abrazarle y decir que lo conseguí. Espero que se sienta orgulloso de mí. Este logro también es para ti, con todo mi amor y eterna gratitud.

Y a mi compañera Gabriela por su compañía, apoyo y motivación durante todo este proceso académico.

Este logro no es solo mío, sino también de todas las personas que estuvieron a mi lado, brindándome su apoyo en este camino, les dedico este trabajo con mucho cariño.

Bryan Alexander Chiluisa Gutiérrez

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mi padre, José, por ser uno de mis mayores apoyos y una parte fundamental de este camino. Gracias por tu esfuerzo, tu sacrificio, tu amor y por preocuparte siempre por mí. Desde niña has velado por mi bienestar y me has impulsado a seguir adelante. Este logro también te pertenece, porque sin tu apoyo constante nada de esto habría sido posible.

A mi madre, María, por su apoyo emocional, sus consejos y su cariño durante este proceso. Gracias por acompañarme, por estar presente y por brindarme amor en los momentos en los que más lo necesité.

A mi hermano mayor, Santiago, por ser un ejemplo y una motivación para mí. Gracias por demostrarme que con responsabilidad, constancia y esfuerzo se pueden alcanzar las metas. A mi hermano menor, Luis, por su ayuda, su compañía y por alegrarme en los momentos difíciles. A mi cuñada, Jennifer, por su cercanía, por sus palabras de ánimo y por formar parte de mi vida con cariño.

A mi querido gatito Balala, a quien siempre llevaré conmigo con mucho amor. Gracias por haber sido mi compañía al inicio de esta etapa; aunque ya no estés físicamente, tu recuerdo sigue presente en mi corazón.

También agradezco a quienes me acompañaron durante este proceso, compartiendo momentos y brindándome su apoyo en distintas etapas. Gracias por haber estado presentes, por ayudarme de diferentes maneras y por formar parte de este camino.

Ana Gabriela Perdomo Unaicho

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “DISEÑO DE UN MODELO INTELIGENTE BASADO EN APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DE ENFERMEDADES Y MEJORA DEL PROCESO DE ATENCIÓN EN LA CLÍNICA VETERINARIA SIRA PETS”

Autores:

Chiluisa Gutiérrez Bryan Alexander

Perdomo Unaicho Ana Gabriela

RESUMEN

El estudio abordó las limitaciones de la gestión de información clínica en la veterinaria SIRA PETS, caracterizada por registros dispersos y no estandarizados que dificultaban la consulta de antecedentes y la identificación de enfermedades recurrentes. Su objetivo fue diseñar un modelo inteligente basado en aprendizaje automático para predecir enfermedades caninas y mejorar el proceso de atención. Se aplicó un enfoque cuantitativo mediante revisión documental retrospectiva, observación, depuración de datos, análisis de Pareto y clasificación supervisada. La población comprendió 500 registros clínicos caninos; se seleccionaron 396 de las siete enfermedades más frecuentes, equivalentes al 79,2 % del total. Se utilizaron veinticinco variables demográficas y clínicas previas al diagnóstico; se aplicó validación cruzada estratificada de cinco particiones. Se compararon los algoritmos árbol de decisión J48, Random Forest, Naive Bayes y máquina de soporte vectorial con núcleo de función de base radial, mediante métricas de clasificación. Random Forest obtuvo el mejor desempeño, con una exactitud de 0,9368 y un índice F1 ponderado de 0,9328. La prueba funcional con 72 casos adicionales generó predicciones para las siete enfermedades y mostró una concordancia inicial del 88,89 % con el criterio veterinario; constituyó una validación funcional inicial y no una validación clínica externa. Como propuesta de mejora, se integraron una ficha clínica estandarizada y un dashboard desarrollado en Streamlit para organizar el ingreso de datos, generar predicciones orientativas y apoyar la valoración veterinaria sin sustituir el juicio profesional. Además, la propuesta permitió estimar la mejora porcentual del proceso de atención mediante la comparación entre el proceso actual y el proceso propuesto.

Palabras clave: aprendizaje automático, predicción de enfermedades veterinarias, apoyo a la decisión clínica, Random Forest y mejora de procesos.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “DESIGN OF AN INTELLIGENT MODEL BASED ON MACHINE LEARNING FOR DISEASE PREDICTION AND IMPROVEMENT OF THE CARE PROCESS AT THE SIRA PETS VETERINARY CLINIC”

Authors:

Chiluisa Gutiérrez Bryan Alexander

Perdomo Unaicho Ana Gabriela

ABSTRACT

The study addressed the limitations of clinical information management at SIRA PETS Veterinary Clinic, which were characterized by scattered and non-standardized records that hindered access to patient history and the identification of recurrent diseases. Its objective was to design an intelligent machine learning-based model to predict canine diseases and improve the care process. A quantitative approach was applied through retrospective document review, observation, data cleaning, Pareto analysis, and supervised classification. The population comprised 500 canine clinical records; 396 records corresponding to the seven most frequent diseases were selected, representing 79.2% of the total. Twenty-five demographic and pre-diagnostic clinical variables were used, and five-fold stratified cross-validation was applied. The J48 decision tree, Random Forest, Naive Bayes, and support vector machine algorithms with a radial basis function kernel were compared using classification metrics. Random Forest achieved the best performance, with an accuracy of 0.9368 and a weighted F1-score of 0.9328. The functional test conducted with 72 additional cases generated predictions for the seven diseases and showed an initial agreement of 88.89% with veterinary judgment; this constituted an initial functional validation rather than an external clinical validation. As an improvement proposal, a standardized clinical record form and a dashboard developed in Streamlit were integrated to organize data entry, generate advisory predictions, and support veterinary assessment without replacing professional judgment. In addition, the proposal made it possible to estimate the percentage improvement in the care process by comparing the current process with the proposed process.

Keywords: machine learning, veterinary disease prediction, clinical decision support, Random Forest, and process improvement.

AVAL DE TRADUCCIÓN

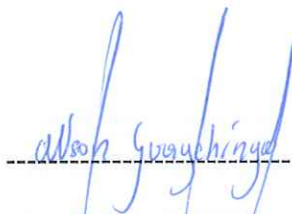
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DISEÑO DE UN MODELO INTELIGENTE BASADO EN APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DE ENFERMEDADES Y MEJORA DEL PROCESO DE ATENCIÓN EN LA CLÍNICA VETERINARIA SIRA PETS”** presentado por: **Chiluisa Gutiérrez Bryan Alexander y Perdomo Unaicho Ana Gabriela**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Industrial**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Agosto del 2026

Atentamente,



Mg. Nelson Wilfrido Guagchinga Chicaiza
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI:0503246415

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA.....	4
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	5
2.3.1. Objeto de investigación.....	5
2.3.2. Campo de acción	5
2.4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	6
2.4.1. Beneficiarios directos.....	6
2.4.2. Beneficiarios indirectos.....	7
2.5. JUSTIFICACIÓN	7
2.6. OBJETIVOS	8
2.6.1. Objetivo general	8
2.6.2. Objetivos específicos.....	8
2.7. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	8
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	10
3.1. ANTECEDENTES.....	10
3.1.1. Inteligencia artificial en el ámbito de la salud.....	11
3.1.2. Aprendizaje automático (machine learning)	12
3.1.3. Tipos de aprendizaje automático.....	12
3.1.4. Aprendizaje supervisado para clasificación	13
3.1.5. Métricas de evaluación.....	14
3.1.6. Calidad de datos, preprocesamiento y fuga de información	16
3.1.7. Historia clínica electrónica y apoyo a la decisión	16
3.2. ENFERMEDADES CANINAS CONSIDERADAS	17
3.3. MEJORA DEL PROCESO DE ATENCIÓN VETERINARIA	18
3.4. DESARROLLO DE SISTEMAS INTELIGENTES DE PREDICCIÓN	18
3.4.1. Calidad y preprocesamiento de datos.....	19
3.5. SISTEMAS DE APOYO A LA DECISIÓN CLÍNICA	20
3.6. ÉTICA, PRIVACIDAD Y RESPONSABILIDAD	21

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	21
4.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	21
4.2. DISEÑO Y ALCANCE.....	22
4.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	22
4.4. POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS.....	22
4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	23
4.6. CARÁCTER DE LA INVESTIGACIÓN	24
4.7. FASES DE INVESTIGACIÓN.....	24
4.8. VARIABLES Y PREPARACIÓN DE LOS DATOS	27
4.9. ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN DE MODELOS.....	27
4.10. MÉTRICAS Y CRITERIO DE SELECCIÓN.....	28
4.11. PRUEBA FUNCIONAL CON CASOS ADICIONALES	28
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	29
5.1. DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1	29
5.1.1. Diagnóstico del proceso actual de atención clínica.....	29
5.1.2. Levantamiento y revisión de la información clínica	29
5.1.3. Depuración de la base de datos y selección de enfermedades	31
5.1.4. Análisis de variables clínicas relevantes	33
5.1.5. Mapa de procesos	34
5.1.6. Levantamiento de procesos	35
5.1.7. Problemas identificados y necesidades de mejora	65
5.2. DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.....	66
5.2.1. Implementación del modelo predictivo.....	66
5.2.2. Preparación de los datos para el modelado	67
5.2.3. Aplicación de algoritmos de clasificación supervisada.....	68
5.2.4. Evaluación y comparación de modelos	70
5.2.5. Selección del mejor modelo	73
5.2.6. Prueba del modelo con nuevos casos	75
5.2.7. Comparación de predicciones con el criterio veterinario	77
5.3. DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3: PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO DE ATENCIÓN	79
5.3.1. Metodología de la validación	80
5.3.2. Levantamiento de tiempos de 15 atenciones.....	81

5.3.3. Comparación entre el proceso actual y el proceso propuesto	83
5.3.4. Integración y validación del modelo predictivo en la atención veterinaria.....	87
5.3.5. Ficha clínica estandarizada para nuevos registros.....	91
5.3.6. Indicadores de mejora del proceso	92
5.3.7. Dashboard o prototipo visual de apoyo.....	93
5.3.8. Validación de la usabilidad del prototipo web propuesto	98
5.3.9. Beneficios esperados para la atención veterinaria y los propietarios.....	101
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
6.1. CONCLUSIONES	102
6.2. RECOMENDACIONES.....	103
6.3. LIMITACIONES DEL PROTOTIPO WEB PROPUESTO.....	103
7. REFERENCIAS	104
8. ANEXOS	1

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MODALIDAD DE TITULACIÓN.	1
TABLA 2. ÁREAS DE CONOCIMIENTO DE LA UNESCO.	1
TABLA 3. BENEFICIARIOS DIRECTOS DE LA CLÍNICA VETERINARIA.....	6
TABLA 4. BENEFICIARIOS INDIRECTOS DE LA CLÍNICA VETERINARIA.....	7
TABLA 5. SISTEMA DE TAREAS.	9
TABLA 6. SIGNOS ORIENTATIVOS Y PRINCIPALES DIAGNÓSTICOS DIFERENCIALES DE LAS CLASES INCLUIDAS.....	17
TABLA 7. FUENTES DE INFORMACIÓN CLÍNICA REVISADAS.....	30
TABLA 8. FRECUENCIA DE ENFERMEDADES REGISTRADAS ANTES DE LA DEPURACIÓN.	32
TABLA 9. ANÁLISIS ABC DE ENFERMEDADES PARA DEFINIR EL ALCANCE DEL MODELO.	32
TABLA 10. VARIABLES SELECCIONADAS PARA EL MODELO PREDICTIVO.	34
TABLA 11. PROCESOS ESTRATÉGICOS DE SIRA PETS.....	36
TABLA 12. PROCESOS OPERATIVOS DE SIRA PETS.	36
TABLA 13. PROCESOS DE APOYO DE SIRA PETS.	37
TABLA 14. LEVANTAMIENTO DE PROCESOS: GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN CLÍNICA.	38
TABLA 15. LEVANTAMIENTO DE PROCESOS: CITAS.	41
TABLA 16. LEVANTAMIENTO DE PROCESOS: CONSULTA.....	44
TABLA 17. LEVANTAMIENTO DE PROCESOS: EXAMEN CLÍNICO.	46
TABLA 18. LEVANTAMIENTO DE PROCESOS: HOSPITALIZACIÓN.	48
TABLA 19. LEVANTAMIENTO DE PROCESOS: GESTIÓN FINANCIERA.	51
TABLA 20. LEVANTAMIENTO DE PROCESOS: TALENTO HUMANO.....	54
TABLA 21. LEVANTAMIENTO DE PROCESOS: SERVICIO DE FARMACIA.	56
TABLA 22. MATRIZ SIPOC DEL PROCESO ACTUAL DE ATENCIÓN VETERINARIA.....	65
TABLA 23. PROBLEMAS IDENTIFICADOS Y NECESIDADES DE MEJORA.	66
TABLA 24. TRATAMIENTO APLICADO A LAS VARIABLES DURANTE EL PREPROCESAMIENTO.	67
TABLA 25. VARIABLE OBJETIVO Y VARIABLES PREDICTORAS UTILIZADAS EN EL MODELO.	68
TABLA 26. PARÁMETROS PRINCIPALES UTILIZADOS EN LOS ALGORITMOS DE CLASIFICACIÓN. ..	69
TABLA 27. ALGORITMOS DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA APLICADOS.	70
TABLA 28. COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS MODELOS DE CLASIFICACIÓN.	70
TABLA 29. VARIABLES PREDICTORAS CON MAYOR IMPORTANCIA EN EL MODELO RANDOM FOREST.....	74

TABLA 30. COMPOSICIÓN DE LA MATRIZ UTILIZADA PARA LA PRUEBA FUNCIONAL.....	76
TABLA 31. DISTRIBUCIÓN DE ENFERMEDADES PREDICHAS EN LA PRUEBA FUNCIONAL.....	76
TABLA 32. CLASIFICACIÓN DE LAS PREDICCIONES SEGÚN NIVEL DE CONFIANZA.....	77
TABLA 33. COMPARACIÓN DE PREDICCIONES CON EL CRITERIO VETERINARIO SEGÚN NIVEL DE CONFIANZA.....	77
TABLA 34. COMPARACIÓN DE ACIERTOS Y ERRORES POR ENFERMEDAD EN LA PRUEBA FUNCIONAL.....	78
TABLA 35. LEVANTAMIENTO DEL PROCESO ACTUAL EN 15 ATENCIONES VETERINARIAS.....	81
TABLA 36. LEVANTAMIENTO DEL PROCESO PROPUESTO EN 15 ATENCIONES VETERINARIAS.	82
TABLA 37. COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESO ACTUAL Y EL PROCESO PROPUESTO.....	85
TABLA 38. INDICADORES COMPARATIVOS ENTRE EL PROCESO ACTUAL Y EL PROCESO PROPUESTO.....	86
TABLA 39. REGISTRO Y PERFIL DE LOS CUATRO EXPERTOS SELECCIONADOS.....	89
TABLA 40. MATRIZ DE VALORACIÓN DE LA PROPUESTA POR CUATRO EXPERTOS.	90
TABLA 41. DEFINICIÓN DE CAMPOS PARA EL REGISTRO DE CASOS CLÍNICOS VETERINARIOS.....	92
TABLA 42. INDICADORES PROPUESTOS PARA EVALUAR LA MEJORA DEL PROCESO.	93
TABLA 43. ELEMENTOS DEL DASHBOARD DESARROLLADO PARA EL APOYO A LA ATENCIÓN VETERINARIA.....	94
TABLA 44. ESCALA DE VALORACIÓN UTILIZADA EN LA ENCUESTA SUS.....	98
TABLA 45. CÁLCULO DEL PUNTAJE SUS POR PARTICIPANTE.	99
TABLA 46. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS SUS.	100

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FASES METODOLÓGICAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
FIGURA 2. MAPA DE PROCESOS DE SIRA PETS.....	35
FIGURA 3. ÁREA DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN CLÍNICA SIRA PETS.....	38
FIGURA 4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN CLÍNICA.....	39
FIGURA 5. PROCESO DE CITAS EN SIRA PETS.....	40
FIGURA 6. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CITAS.....	42
FIGURA 7. ÁREA DESTINADA AL PROCESO DE CONSULTAS VETERINARIAS.....	43
FIGURA 8. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CONSULTA VETERINARIA.....	45
FIGURA 9. PROCESO DE EXAMEN CLÍNICO EN SIRA PETS.....	46
FIGURA 10. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE EXAMEN CLÍNICO.....	47
FIGURA 11. ÁREA DE HOSPITALIZACIÓN EN SIRA PETS.....	48
FIGURA 12. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE HOSPITALIZACIÓN.....	50
FIGURA 13. ÁREA DE GESTIÓN FINANCIERA EN SIRA PETS.....	51
FIGURA 14. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE GESTIÓN FINANCIERA.....	52
FIGURA 15. PROCESO DE TALENTO HUMANO EN SIRA PETS.....	53
FIGURA 16. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TALENTO HUMANO.....	55
FIGURA 17. ÁREA DE SERVICIO DE FARMACIA EN SIRA PETS.....	56
FIGURA 18. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE SERVICIO DE FARMACIA.....	58
FIGURA 19. INGRESO PRINCIPAL DE LA CLÍNICA VETERINARIA SIRA PETS.....	59
FIGURA 20. RECEPCIÓN Y ENTREVISTA INICIAL DEL PACIENTE EN SIRA PETS.....	60
FIGURA 21. ÁREA DE RECEPCIÓN DE PACIENTES EN SIRA PETS.....	60
FIGURA 22. REVISIÓN CLÍNICA FÍSICA DEL PACIENTE.....	61
FIGURA 23. ÁREA DE TRATAMIENTO O PROCEDIMIENTO CLÍNICO EN SIRA PETS.....	62
FIGURA 24. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO ACTUAL DE ATENCIÓN VETERINARIA.....	64
FIGURA 25. MATRICES DE CONFUSIÓN DE LOS MODELOS EVALUADOS.....	71
FIGURA 26. CURVAS ROC MULTICLASE MICRO-PROMEDIO DE LOS MODELOS EVALUADOS.....	72
FIGURA 27. IMPORTANCIA DE VARIABLES PREDICTORAS EN EL MODELO RANDOM FOREST.....	74
FIGURA 28. MATRIZ DE CONFUSIÓN ENTRE EL CRITERIO VETERINARIO Y LA PREDICCIÓN DEL MODELO.....	79
FIGURA 29. PROCESO DE MEJORA DE CONSULTA VETERINARIA CON APOYO DEL MODELO PREDICTIVO.....	88
FIGURA 30. VENTANA DE INICIO DE SESIÓN DEL DASHBOARD DE APOYO CLÍNICO.....	95

FIGURA 31. PANEL PRINCIPAL DEL DASHBOARD DE APOYO CLÍNICO.....	96
FIGURA 32. INTERFAZ DE INGRESO DE DATOS CLÍNICOS DEL PACIENTE.	97
FIGURA 33. RESULTADO DE PREDICCIÓN GENERADO POR EL PROTOTIPO.	97
FIGURA 34. PUNTAJE SUS OBTENIDO POR PARTICIPANTE FRENTE AL VALOR DE REFERENCIA.	101

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 TIEMPO PROMEDIO.	80
ECUACIÓN 2 REDUCCIÓN DEL TIEMPO.	80
ECUACIÓN 3 COMPLETITUD DE LA FICHA.....	81
ECUACIÓN 4 DIAGNÓSTICOS ESTANDARIZADOS.	81
ECUACIÓN 5 COEFICIENTE DE ÍTEMS IMPARES.	99
ECUACIÓN 6 COEFICIENTE DE ÍTEMS PARES.....	99
ECUACIÓN 7 ESCALA DE USABILIDAD DEL SISTEMA.	99

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Diseño de un modelo inteligente basado en aprendizaje automático para la predicción de enfermedades y mejora del proceso de atención en la clínica veterinaria SIRA PETS.

Modalidad de titulación:

En la Tabla 1 se presenta la modalidad de titulación seleccionada para el desarrollo del proyecto.

Tabla 1. Modalidad de titulación.

Modalidad de Titulación	Homologaciones para informe final de titulación	Selección
Proyecto de investigación	Informe de proyecto de investigación.	X
	Patente, modelo de utilidad, certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	

Trabajo de titulación Vinculado al Proyecto: Transformación Digital: El impacto de las tecnologías 4.0 en la industria y academia.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Tutor: MSc. Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino

Autores:

- Chiluisa Gutiérrez Bryan Alexander
- Perdomo Unaicho Ana Gabriela

Área de conocimiento:

En la Tabla 2 se presenta el área de conocimiento de la UNESCO relacionada con el proyecto.

Tabla 2. Áreas de conocimiento de la UNESCO.

Área de conocimiento	Subárea de conocimiento	Subárea específica de conocimiento
07 Ingeniería, Industria y Construcción	071 ingeniería y Profesionales Afines	0714 electrónica y automatización

Línea de investigación: Tecnología industrial, gestión de la producción, riesgos y seguridad laboral.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Innovación tecnológica de los sistemas productivos.

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las clínicas veterinarias ocupan un lugar cada vez más importante dentro de la sociedad moderna. La relación entre las personas y los animales de compañía ha evolucionado durante las últimas décadas hacia vínculos afectivos más estrechos, al punto de que muchos propietarios consideran a sus mascotas como miembros de la familia [1]. Este cambio cultural ha contribuido a una mayor demanda de servicios veterinarios orientados no solo al tratamiento de enfermedades, sino también a la prevención, el bienestar animal y la orientación profesional a los propietarios. Como consecuencia, los centros veterinarios enfrentan el desafío de ofrecer una atención más rápida, precisa, humana y eficiente, en un entorno donde las expectativas de los usuarios son cada vez mayores [2].

La práctica veterinaria contemporánea ya no se limita únicamente al diagnóstico y tratamiento clínico tradicional. Actualmente, los profesionales deben gestionar información clínica, coordinar procesos de atención y responder con rapidez ante situaciones que requieren decisiones oportunas. Estas exigencias han puesto de manifiesto la necesidad de incorporar herramientas tecnológicas, especialmente basadas en inteligencia artificial, que contribuyan a mejorar la eficiencia del flujo clínico y administrativo, apoyando el trabajo del profesional veterinario sin reemplazar su criterio clínico [3].

Estas necesidades han impulsado la incorporación de tecnologías asociadas con la Industria 4.0 en distintos sectores, incluido el ámbito de la salud, mediante herramientas como inteligencia artificial, big data, computación en la nube, internet de las cosas y sistemas digitales orientados a mejorar la gestión sanitaria [4]. En este escenario, el aprendizaje automático (*Machine Learning*) se ha posicionado como una herramienta relevante dentro de la inteligencia artificial, debido a su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos clínicos, identificar patrones complejos y generar predicciones que pueden apoyar el diagnóstico, el tratamiento y la eficiencia de los servicios sanitarios [5].

El aprendizaje automático permite transformar los datos clínicos en conocimiento útil. A partir de historiales médicos, síntomas registrados, resultados de exámenes y antecedentes epidemiológicos, es posible desarrollar modelos capaces de estimar la probabilidad de aparición de determinadas enfermedades y apoyar la toma de decisiones clínicas [5]. Este enfoque no pretende sustituir al profesional de la salud, sino brindarle una herramienta complementaria que reduzca la incertidumbre y fortalezca su criterio profesional [3]. En medicina humana, estas

tecnologías han demostrado utilidad en la detección temprana de enfermedades, la predicción de riesgos y la optimización de tratamientos [5]. En el ámbito veterinario, su incorporación presenta un potencial relevante para aprovechar los datos clínicos disponibles y mejorar los procesos de diagnóstico y seguimiento [6].

A pesar de estos avances, la gestión de la información clínica veterinaria puede presentar limitaciones cuando los registros no están estandarizados, se encuentran dispersos o dependen de formatos poco estructurados, lo que dificulta su uso para análisis, seguimiento y apoyo predictivo [6]. Estas limitaciones pueden afectar la eficiencia del proceso de atención y la calidad de la interacción con los propietarios, quienes esperan recibir información clara, orientación profesional y participar adecuadamente en las decisiones sobre la salud de sus animales de compañía [7].

En el contexto ecuatoriano, estudios sobre gestión de clínicas veterinarias señalan que una parte importante de estos centros aún presenta limitaciones en la gestión centralizada y digitalizada de la información, lo que puede ocasionar dificultades en la organización de expedientes, duplicidad de datos y demoras en el acceso a registros clínicos [8]. Esta realidad evidencia una oportunidad para incorporar herramientas digitales y soluciones basadas en inteligencia artificial, orientadas a mejorar la eficiencia operativa, reducir tiempos de respuesta y apoyar la toma de decisiones clínicas sin reemplazar el criterio profesional [3].

Ante estas limitaciones, resulta necesario explorar estrategias que permitan modernizar los procesos de atención veterinaria mediante herramientas digitales orientadas a mejorar la gestión de la información y la eficiencia administrativa [8]. La clínica veterinaria SIRA PETS, consciente de los cambios tecnológicos y de las nuevas demandas del entorno, reconoce la importancia de avanzar hacia la digitalización de sus servicios. La disponibilidad de datos clínicos históricos constituye una fuente valiosa de información que, al ser analizada adecuadamente, puede transformarse en una herramienta estratégica para apoyar la predicción temprana de enfermedades, mejorar la organización del trabajo y optimizar el uso de los recursos disponibles [6].

La posibilidad de identificar oportunamente una enfermedad probable a partir de la información clínica disponible representa un apoyo importante dentro de la atención veterinaria. Pasar de un enfoque reactivo, centrado en tratar la enfermedad una vez que aparece, a un enfoque preventivo y predictivo permite fortalecer el bienestar animal y apoyar la detección temprana de problemas

de salud [9]. Además, la optimización del flujo de atención mediante herramientas digitales puede contribuir a disminuir tiempos de espera, mejorar la planificación de citas y organizar de forma más eficiente la información clínica disponible [8].

En este contexto, el presente estudio tiene como propósito diseñar un modelo inteligente basado en aprendizaje automático para la predicción de enfermedades y la mejora del proceso de atención en la clínica. Para ello, se plantea una investigación de carácter documental y aplicada, que integra la revisión de literatura científica, el análisis de datos clínicos y la definición de criterios de eficiencia operativa. Este enfoque busca establecer las bases para una herramienta tecnológica ajustada al contexto de SIRA PETS.

La relevancia de la investigación radica en la posibilidad de aprovechar tecnologías emergentes para fortalecer la atención veterinaria y el cuidado de la salud animal. En el caso de SIRA PETS, el uso de inteligencia artificial representa una alternativa para organizar mejor la información clínica, apoyar el trabajo del personal veterinario y avanzar hacia un servicio más ágil e innovador. Además, el estudio puede servir como referencia para clínicas veterinarias con necesidades similares, especialmente aquellas que buscan incorporar herramientas digitales en sus procesos de atención [9].

Esta investigación se ubica en un punto de encuentro entre la tecnología y la medicina veterinaria, ya que busca generar una solución que apoye tanto al personal clínico como a los pacientes y sus propietarios. En este sentido, la incorporación del aprendizaje automático no se plantea únicamente como un avance tecnológico, sino como una alternativa para fortalecer una atención más organizada, preventiva y orientada al bienestar animal [9]. De esta manera, el estudio pretende aportar al desarrollo de servicios veterinarios más modernos, eficientes y acordes con las necesidades actuales de la sociedad.

2.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA

En los últimos años, el sector veterinario ha adquirido mayor relevancia debido al vínculo cada vez más estrecho entre las personas y sus animales de compañía, quienes en muchos hogares son considerados parte de la familia [1]. Esta relación también ha elevado las expectativas de los propietarios, quienes buscan una atención más clara, confiable y acompañada de información suficiente para participar en las decisiones sobre la salud de sus mascotas [7]. En este contexto, la digitalización de los servicios veterinarios representa una oportunidad para organizar mejor los procesos, reducir errores y aprovechar de forma más eficiente la

información clínica. No obstante, en Ecuador aún se reportan limitaciones relacionadas con el uso de registros manuales o sistemas poco centralizados, lo que dificulta el acceso oportuno a la información y el seguimiento adecuado de los pacientes [8].

En la clínica veterinaria SIRA PETS, ubicada en Sangolquí, el equipo profesional brinda atención orientada al bienestar animal. Sin embargo, parte del proceso de atención todavía depende de la experiencia del veterinario y de registros que no se encuentran completamente centralizados. Esta situación puede dificultar el seguimiento de los pacientes, retrasar la consulta de antecedentes clínicos y limitar la identificación de enfermedades recurrentes, problemas que también han sido señalados en estudios sobre gestión digital de clínicas veterinarias en Ecuador [8]. Además, la falta de herramientas tecnológicas reduce la capacidad para planificar recursos, organizar el trabajo diario y analizar el desempeño del servicio.

Por ello, se plantea la necesidad de incorporar un modelo predictivo basado en aprendizaje automático que permita aprovechar los datos clínicos disponibles, apoyar la predicción temprana de enfermedades y mejorar la organización de la información en la clínica [9]. Esta propuesta no busca reemplazar el criterio del personal veterinario, sino ofrecer una herramienta de apoyo que contribuya a una atención más ágil, confiable y centrada en el bienestar de las mascotas y la tranquilidad de sus propietarios [3].

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Determinación de la influencia del diseño de un modelo inteligente basado en aprendizaje automático para predecir enfermedades en el proceso de atención en la clínica veterinaria SIRA PETS.

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de investigación

Proceso de atención veterinaria y gestión de la información clínica en la clínica veterinaria SIRA PETS.

2.3.2. Campo de acción

De acuerdo con el código de la UNESCO para la ciencia, este estudio se ubica dentro del campo detallado:

Código UNESCO: 3310.03 Procesos Industriales

2.4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

2.4.1. Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos de la investigación serán el equipo médico veterinario y el personal auxiliar de la clínica SIRA PETS, conformado por un total de 10 personas, quienes se verán favorecidos con la incorporación de herramientas tecnológicas que facilitarán la toma de decisiones clínicas, la organización de la información y la optimización del proceso de atención. Asimismo, los clientes y los pacientes animales de la clínica se beneficiarán mediante una atención más ágil y organizada, junto con una herramienta de apoyo para orientar la valoración de enfermedades probables y mejorar el uso de la información clínica.

En la Tabla 3 se presentan los beneficiarios directos del proyecto, considerando las áreas y personas que se verán favorecidas de forma inmediata con la propuesta.

Tabla 3. Beneficiarios Directos de la clínica veterinaria.

Departamento	Beneficiario Directo	Cantidad	Beneficio directo	Impacto operativo esperado
Área Médica y Quirúrgica	Médicos veterinarios	4	Apoyo a la orientación diagnóstica mediante la predicción de enfermedades frecuentes con aprendizaje automático.	Apoyo a la valoración clínica, mejor organización de la información y optimización del proceso de atención.
Atención Auxiliar y Clínica	Personal auxiliar y técnico de enfermería	4	Digitalización, estructuración y acceso rápido a los historiales clínicos y registros del paciente.	Agilización en el registro de datos, disminución de errores manuales y mejor seguimiento del paciente.
Administración y Recepción	Recepción y Gerencia	2	Optimización del flujo de atención al cliente y gestión eficiente de la agenda y turnos de consulta.	Disminución de tiempos muertos, reducción de esperas en sala y mejor toma de decisiones.

2.4.2. Beneficiarios indirectos

Las familias del personal, de los propietarios de los pacientes y los proveedores se benefician indirectamente, ya que la mejora en la atención veterinaria fortalece la confianza, el bienestar de los hogares y las relaciones con los actores vinculados a la clínica.

En la Tabla 4 se presentan los beneficiarios indirectos del proyecto, considerando a los usuarios y actores que podrían verse favorecidos por la mejora del proceso de atención veterinaria.

Tabla 4. Beneficiarios indirectos de la clínica veterinaria.

Beneficiario Indirecto	Nº estimado (mensual)	Descripción del beneficiario indirecto
Propietarios de mascotas (Clientes)	150	Mayor satisfacción por la agilidad en la atención, diagnósticos más oportunos y fortalecimiento de la confianza en la atención veterinaria.
Pacientes animales	180	Apoyo a la orientación diagnóstica, mejor organización de la atención y seguimiento más ordenado de la información clínica del paciente.
Proveedores de insumos y fármacos	5	Mejor planificación de pedidos e insumos médicos gracias a una gestión más ordenada del flujo de pacientes y requerimientos clínicos.

2.5. JUSTIFICACIÓN

La investigación surge del interés por aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación académica en un contexto real, donde la tecnología pueda aportar a la mejora del proceso de atención veterinaria en la clínica SIRA PETS. Desde una perspectiva académica y científica, el uso del aprendizaje automático en medicina veterinaria representa una línea de trabajo emergente, ya que integra conocimientos de informática, análisis de datos, estadística, medicina veterinaria y gestión de servicios de salud [9]. Esta relación interdisciplinaria permite plantear soluciones innovadoras frente a necesidades reales del entorno clínico.

Desde el punto de vista teórico y metodológico, el estudio se justifica porque permite analizar cómo los modelos predictivos pueden apoyar la orientación diagnóstica y el uso adecuado de la información clínica [5]. Para ello, es necesario definir variables relevantes, seleccionar algoritmos adecuados y validar los resultados mediante métricas de desempeño, siguiendo un proceso ordenado de desarrollo y evaluación de modelos predictivos [10].

En el ámbito práctico y profesional, la propuesta responde a una necesidad concreta de SIRA PETS: mejorar la forma en que se registra, organiza y utiliza la información clínica de los pacientes. El diseño de un modelo inteligente permitiría aprovechar los datos históricos como insumo para apoyar al personal veterinario y fortalecer la orientación diagnóstica [6]. Además, la incorporación de herramientas digitales puede contribuir a reducir tiempos de consulta, mejorar la organización del servicio y ofrecer una atención más ágil y confiable para la clínica, los propietarios y las mascotas [8].

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo general

Diseñar un modelo inteligente basado en aprendizaje automático para la predicción de enfermedades y mejora del proceso de atención en la clínica veterinaria SIRA PETS.

2.6.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el proceso actual de atención clínica y registro de información en SIRA PETS, mediante la revisión de historias clínicas, síntomas, diagnósticos frecuentes y variables relevantes, para la identificación de las enfermedades de mayor incidencia y las necesidades de mejora en la gestión veterinaria.
- Implementar algoritmos de aprendizaje automático para la predicción de enfermedades veterinarias, comparando su desempeño mediante métricas de clasificación, para la selección del modelo con mejor capacidad predictiva.
- Proponer una mejora al proceso de atención veterinaria en SIRA PETS, integrando los resultados del modelo predictivo como herramienta de apoyo para la orientación diagnóstica.

2.7. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

En la Tabla 5 se presenta el sistema de tareas relacionado con los objetivos específicos del proyecto, detallando las actividades, resultados esperados y medios de verificación.

Tabla 5. Sistema de tareas.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnica y herramientas
Diagnosticar el proceso actual de atención clínica y registro de información en SIRA PETS, mediante la revisión de historias clínicas, síntomas, diagnósticos frecuentes y variables relevantes, para la identificación de las enfermedades de mayor incidencia y las necesidades de mejora en la gestión veterinaria.	● Revisar historias clínicas y registros de pacientes. ● Recopilar información de síntomas, diagnósticos y variables clínicas. ● Delimitar la población de estudio (pacientes caninos). ● Levantar el proceso actual mediante diagrama de flujo y SIPOC. ● Identificar problemas y variables relevantes.	● Base de datos depurada. ● Población delimitada con enfermedades recurrentes. ● Diagrama de flujo del proceso actual. ● SIPOC de atención. ● Identificación de problemas y variables.	Técnica: Revisión documental, Observación directa, Encuesta, Análisis de procesos, Análisis ABC. Instrumento: Historias clínicas, Guía de observación, Cuestionario de encuesta, Diagrama de flujo, SIPOC, Microsoft Excel.
Implementar algoritmos de aprendizaje automático para la predicción de enfermedades veterinarias, comparando su desempeño mediante métricas de clasificación, para la selección del modelo con mejor capacidad predictiva	● Definir la variable objetivo y variables predictoras. ● Entrenar diferentes algoritmos de clasificación. ● Evaluar el desempeño mediante métricas. ● Seleccionar el mejor modelo. ● Validar el modelo con casos nuevos.	● Base de datos codificada. ● Modelos de aprendizaje automático entrenados. ● Comparación de algoritmos. ● Modelo seleccionado y validado.	Técnica: Aprendizaje automático, Análisis comparativo, Validación de modelos. Instrumento: Python, Scikit-learn, Google Colab, Matriz de confusión, Métricas de clasificación.
Proponer una mejora al proceso de atención veterinaria en SIRA PETS, integrando los resultados del modelo predictivo como herramienta de apoyo para la orientación diagnóstica.	● Diseñar el proceso de atención mejorado. ● Comparar el proceso actual con el propuesto. ● Definir indicadores de desempeño. ● Diseñar un dashboard y ficha estandarizada.	● Diagrama del proceso mejorado. ● Dashboard de apoyo a la gestión veterinaria y Ficha estandarizada de registro clínico. ● Propuesta de implementación.	Técnica: Ingeniería de procesos, Análisis comparativo, KPIs, Juicio de expertos. Instrumento: Diagrama de flujo, SIPOC, Microsoft Excel.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

En el contexto ecuatoriano, el uso de inteligencia artificial y aprendizaje automático ha comenzado a ganar espacio en investigaciones aplicadas a problemas reales de diagnóstico, predicción y apoyo a la toma de decisiones. En el área de la salud, se han analizado sus beneficios y riesgos para fortalecer los procesos de diagnóstico médico [11], mientras que en sectores productivos como la agricultura se han propuesto marcos de analítica de datos y tableros interactivos para apoyar decisiones basadas en información [12]. Estos antecedentes muestran que las técnicas inteligentes pueden adaptarse a distintos contextos, siempre que respondan a necesidades concretas y cuenten con datos organizados para su análisis.

En el ámbito de la salud, el aprendizaje automático se ha aplicado en tareas como la predicción de riesgos, el análisis de información clínica, el apoyo al diagnóstico y la optimización de decisiones relacionadas con la atención médica [5]. En Ecuador, la incorporación de inteligencia artificial en procesos de diagnóstico médico se reconoce como una alternativa con beneficios potenciales, aunque todavía requiere análisis sobre su implementación, riesgos y condiciones de uso [11]. En medicina veterinaria, la evidencia reciente muestra aplicaciones en diagnóstico, detección temprana, apoyo administrativo y vigilancia; sin embargo, varias de estas soluciones aún se encuentran en desarrollo y dependen de la disponibilidad de datos clínicos confiables [9].

A nivel nacional, el uso de inteligencia artificial en el sector veterinario puede entenderse como una oportunidad emergente, especialmente frente a la necesidad de mejorar la gestión de información, optimizar procesos de atención y fortalecer el seguimiento de los pacientes [8]. La integración de modelos predictivos permitiría aprovechar los datos clínicos generados durante la atención diaria para identificar patrones, anticipar enfermedades frecuentes y apoyar la toma de decisiones del personal veterinario [6], [9].

En este sentido, el diseño de un modelo inteligente basado en aprendizaje automático constituye la variable independiente del estudio, debido a que representa la intervención tecnológica mediante la cual se busca apoyar la predicción de enfermedades y la mejora del proceso de atención veterinaria. Su implementación requiere organizar la base de datos clínica, definir variables de entrada y salida, entrenar algoritmos de clasificación y validar su desempeño mediante métricas adecuadas [10]. Por ello, el modelo se considera el componente central para analizar la influencia de la propuesta dentro del contexto de SIRA PETS.

En síntesis, dentro del contexto ecuatoriano, el diseño de un modelo inteligente basado en aprendizaje automático se concibe como una estrategia para incorporar tecnologías emergentes en la atención veterinaria. Esta propuesta busca aportar a la modernización de los servicios de salud animal, mejorar el uso de la información clínica y fortalecer la toma de decisiones basada en datos [8], [9].

3.1.1. Inteligencia artificial en el ámbito de la salud

La inteligencia artificial (IA) se entiende como un campo de la informática orientado al desarrollo de sistemas capaces de realizar tareas asociadas a la inteligencia humana, como el aprendizaje, el reconocimiento de patrones y el apoyo a procesos de decisión [13]. En el ámbito de la salud, su crecimiento se relaciona con la digitalización de los servicios médicos y la disponibilidad de grandes volúmenes de datos clínicos, lo que permite analizar información compleja para apoyar el diagnóstico, la predicción de riesgos y la gestión de procesos asistenciales [14]. De esta manera, las herramientas basadas en IA pueden contribuir a una atención más preventiva y basada en datos, siempre como complemento del criterio profesional.

El aprendizaje automático, como subcampo de la inteligencia artificial, permite que los sistemas identifiquen patrones a partir de los datos sin requerir una programación específica para cada tarea. En el sector sanitario, estas técnicas se aplican en actividades como la predicción de riesgos, el análisis de imágenes médicas y el apoyo a decisiones relacionadas con el diagnóstico o el tratamiento [5]. Además, la integración de grandes volúmenes de información procedente de historias clínicas, laboratorios y dispositivos médicos ha fortalecido el desarrollo de enfoques más predictivos y personalizados en la atención de salud [14]. Desde esta perspectiva, la analítica avanzada y las tecnologías digitales también pueden contribuir a mejorar la eficiencia de los procesos asistenciales y la gestión de recursos [4].

En medicina veterinaria, la incorporación de inteligencia artificial se relaciona con dos cambios importantes: el vínculo más estrecho entre las personas y sus animales de compañía, y la necesidad de ofrecer servicios clínicos más organizados y oportunos [1]. Estas tecnologías pueden apoyar el análisis de historiales clínicos, signos, resultados de laboratorio y otros datos del paciente, con aplicaciones orientadas a la predicción de enfermedades, el apoyo diagnóstico y la gestión de la información veterinaria [9]. Sin embargo, su implementación debe entenderse como una herramienta complementaria, destinada a fortalecer el trabajo del personal veterinario sin sustituir su criterio profesional [3].

3.1.2. Aprendizaje automático (machine learning)

El aprendizaje automático (*Machine Learning*) es un subcampo de la inteligencia artificial que permite a los sistemas identificar patrones a partir de datos y utilizarlos para realizar predicciones o clasificaciones. En el ámbito sanitario, su aplicación se basa en el entrenamiento de algoritmos con información histórica, la selección de variables relevantes y la evaluación del desempeño del modelo mediante métricas adecuadas [5], [10]. De esta manera, el aprendizaje automático puede apoyar la toma de decisiones basada en evidencia, especialmente cuando se trabaja con grandes volúmenes de información clínica.

En medicina veterinaria, estas técnicas adquieren valor porque los registros clínicos, resultados de laboratorio y antecedentes de los pacientes pueden transformarse en datos útiles para el análisis automatizado [6]. A partir de variables como síntomas, edad, raza, peso e historial médico, los modelos predictivos pueden apoyar la orientación diagnóstica, priorizar casos y mejorar la organización del proceso de atención, siempre como complemento del criterio profesional [9].

3.1.3. Tipos de aprendizaje automático

- **Aprendizaje supervisado**

Utiliza conjuntos de datos previamente etiquetados, en los que cada registro contiene variables de entrada y un resultado conocido. A partir de esta información, el modelo aprende relaciones entre los datos y puede clasificar nuevos casos o predecir resultados clínicos [5], [10]. En el ámbito veterinario, este enfoque puede aplicarse para orientar la predicción de enfermedades a partir de síntomas, antecedentes y características del paciente [9].

- **Aprendizaje no supervisado**

Analiza datos sin etiquetas para identificar patrones, relaciones ocultas o agrupaciones naturales. Este enfoque resulta útil cuando se busca explorar grandes conjuntos de información, segmentar casos o reconocer comportamientos que no han sido definidos previamente [5].

- **Aprendizaje por refuerzo**

Permite que un sistema aprenda a seleccionar acciones a partir de la interacción con un entorno y de una retroalimentación continua. En salud, este enfoque se ha explorado para apoyar decisiones secuenciales, aunque su uso requiere una validación cuidadosa antes de aplicarse en contextos clínicos reales [5].

3.1.4. Aprendizaje supervisado para clasificación

El aprendizaje supervisado para clasificación trabaja con registros previamente etiquetados, en los que existe una variable objetivo conocida. En este tipo de problemas, el modelo aprende la relación entre las variables predictoras y la clase esperada, con el fin de clasificar nuevos casos de manera automática [10]. En la presente investigación, cada historia clínica se representa mediante características demográficas y signos clínicos codificados, mientras que la enfermedad depurada constituye la clase que debe aprenderse. Por ello, el problema se considera multiclase, ya que cada paciente puede asignarse a una de las siete enfermedades seleccionadas.

El flujo general del modelado comprende la depuración de datos, la codificación de variables, la separación entre predictores y variable objetivo, el entrenamiento de los algoritmos, la validación y la comparación de resultados. Para conservar la proporción de enfermedades en cada evaluación, se emplea validación cruzada estratificada, técnica utilizada en problemas de clasificación para mantener la distribución de clases entre los subconjuntos de entrenamiento y validación [15]. En este estudio, se consideran cinco particiones, por lo que cada iteración utiliza aproximadamente el 80 % de los registros para entrenamiento y el 20 % para validación.

- **Decision Tree / J48**

El árbol de decisión clasifica los casos mediante reglas jerárquicas generadas a partir de divisiones sucesivas en las variables de entrada. En esta investigación, el uso de Decision Tree/J48 permite obtener un modelo interpretable, ya que la ruta desde el nodo raíz hasta una hoja muestra la secuencia de condiciones asociadas con una clase. No obstante, al tratarse de un árbol individual, puede ajustarse demasiado a particularidades de la muestra de entrenamiento si no se controla su complejidad [16].

- **Random Forest**

Random Forest es un método de ensamble que construye varios árboles de decisión a partir de muestras aleatorias de los datos y subconjuntos aleatorios de variables. La clasificación final se obtiene por votación entre los árboles, lo que ayuda a reducir la varianza frente a un árbol individual y mejora la capacidad del modelo para representar relaciones complejas entre las variables [17]. Además, este algoritmo permite estimar la importancia relativa de las variables, lo que resulta útil para interpretar qué signos o características aportan más al proceso de clasificación.

- **Naive Bayes**

Naive Bayes aplica el teorema de Bayes para estimar la probabilidad de que un caso pertenezca a una clase, asumiendo independencia condicional entre los predictores dada la clase. Aunque esta suposición rara vez se cumple por completo en aplicaciones reales, el algoritmo se mantiene como una alternativa sencilla, rápida y útil como línea base para comparar el desempeño de modelos más complejos [18].

- **Máquina de Soporte Vectorial – SVM RBF**

La máquina de soporte vectorial busca construir una frontera de decisión que separe las clases con el mayor margen posible. Cuando se utiliza el kernel de base radial, el modelo puede representar relaciones no lineales entre las variables, aunque requiere una preparación adecuada de los datos y el ajuste de parámetros como C y gamma para obtener un desempeño estable [19]. En esta investigación, SVM RBF se incluye como una alternativa para comparar su capacidad de clasificación frente a modelos basados en árboles y métodos probabilísticos.

3.1.5. Métricas de evaluación

Para evaluar los modelos de clasificación se utilizaron métricas derivadas de la matriz de confusión, ya que permiten analizar el desempeño desde diferentes perspectivas y no solo mediante el porcentaje general de aciertos [20]. En esta investigación se emplearon métricas ponderadas porque el problema es multiclase y las enfermedades seleccionadas no tienen la misma frecuencia en la base de datos.

- **Métricas principales**

Exactitud (accuracy)

Mide la proporción total de predicciones correctas respecto al total de casos evaluados. En esta investigación se utiliza como una medida general del desempeño del modelo y se analiza junto con otras métricas para obtener una evaluación más completa del comportamiento de cada algoritmo.

Precisión ponderada

Indica qué proporción de las predicciones realizadas por el modelo fue correcta, considerando el peso de cada enfermedad dentro del conjunto de datos. En este estudio permite valorar la confiabilidad de las clases asignadas por cada algoritmo.

Sensibilidad o recall ponderado

Mide la capacidad del modelo para identificar correctamente los casos reales de cada enfermedad. En el contexto de la investigación, permite observar qué tan bien el modelo reconoce los diagnósticos incluidos en la base clínica.

Especificidad ponderada

Evalúa la capacidad del modelo para reconocer los casos que no pertenecen a una determinada enfermedad. Esta métrica complementa la sensibilidad, porque permite analizar el comportamiento del modelo frente a clases que no corresponden al diagnóstico evaluado.

F1-score ponderado

Combina precisión y sensibilidad en una sola medida. En esta investigación se considera una métrica principal porque permite evaluar el equilibrio entre la confiabilidad de las predicciones y la capacidad del modelo para reconocer los casos reales de cada enfermedad.

ROC AUC macro y ROC AUC ponderado

Permiten valorar la capacidad general del modelo para diferenciar entre las enfermedades consideradas. El promedio macro trata a todas las clases con el mismo peso, mientras que el promedio ponderado ajusta el resultado según la frecuencia de cada enfermedad en la base de datos [20].

- **Control de sobreajuste**

Exactitud de entrenamiento (accuracy_train)

Representa el desempeño del modelo sobre los datos utilizados durante el entrenamiento. En este estudio se revisa como una referencia complementaria para comparar el comportamiento del modelo frente a los datos de validación.

Diferencia entre entrenamiento y validación (gap_train_test_accuracy)

Compara la exactitud obtenida durante el entrenamiento con la exactitud alcanzada en validación. Esta diferencia permite identificar si el modelo mantiene un desempeño consistente entre ambas etapas de evaluación.

3.1.6. Calidad de datos, preprocesamiento y fuga de información

Los registros clínicos pueden presentar valores faltantes, errores de escritura, duplicidad de datos, categorías equivalentes o campos redactados en texto libre, por lo que es necesario evaluar su calidad antes de utilizarlos en análisis o modelos predictivos [21]. En el ámbito veterinario, esta situación es relevante porque parte de la información clínica puede encontrarse en formatos poco estructurados, lo que exige organizarla y estandarizarla antes del modelado [6]. Por ello, antes de entrenar un modelo se deben unificar nombres, revisar rangos, eliminar duplicados, codificar categorías y documentar las transformaciones aplicadas, ya que la calidad del dato influye directamente en la confiabilidad de los resultados [10].

Existe fuga de información cuando el modelo utiliza variables que no estarían disponibles en el momento real de la predicción o que revelan indirectamente la variable objetivo, generando un desempeño artificialmente elevado [22]. En el contexto clínico, esto puede ocurrir si se incluyen datos posteriores al diagnóstico, como tratamientos prescritos, hospitalización, resultados finales o notas clínicas que ya contienen la decisión profesional. Por esta razón, en el modelo final de esta investigación se excluyen identificadores, texto libre, tratamientos y variables posteriores al diagnóstico. Estas variables se conservan únicamente para trazabilidad o análisis descriptivo.

3.1.7. Historia clínica electrónica y apoyo a la decisión

La historia clínica veterinaria reúne información del paciente, motivo de consulta, antecedentes, signos clínicos, pruebas, diagnóstico, tratamiento y evolución. Cuando estos datos se registran de forma ordenada y estandarizada, resulta más fácil recuperar antecedentes, comparar visitas y generar información útil para el seguimiento del paciente [6]. Además, una información clínica clara favorece la comunicación entre el personal veterinario y los propietarios, quienes requieren orientación comprensible para participar en las decisiones sobre la salud de sus animales [7].

Los sistemas de apoyo a la decisión clínica pueden procesar estos datos para generar alertas, estimaciones o recomendaciones orientativas; sin embargo, la decisión final debe permanecer bajo responsabilidad del profesional veterinario [3]. Por ello, para que una predicción sea útil en la práctica, la interfaz debe mostrar la enfermedad probable, el nivel de confianza y una advertencia sobre su carácter de apoyo. También debe permitir registrar la decisión del

veterinario, ya que esa retroalimentación es necesaria para evaluar el desempeño del modelo y actualizarlo cuando sea necesario [10].

3.2. ENFERMEDADES CANINAS CONSIDERADAS

Las siete clases consideradas en esta investigación se seleccionaron a partir de la frecuencia acumulada observada en los registros clínicos de SIRA PETS. Esta delimitación permitió trabajar con las enfermedades de mayor presencia en la base de datos y reducir la dispersión de diagnósticos poco frecuentes. Además, varias de estas patologías pueden compartir signos clínicos, por lo que la predicción no debe basarse en síntomas aislados, sino en la combinación de variables como edad, antecedentes, signos observados y motivo de consulta.

La parvovirus canina se asocia principalmente con cuadros gastrointestinales agudos, como vómito, diarrea, decaimiento y deshidratación, con mayor riesgo en animales jóvenes o con esquemas de vacunación incompletos [23]. La traqueobronquitis forma parte del complejo respiratorio infeccioso canino, en el que pueden intervenir agentes virales y bacterianos, y donde son frecuentes la tos, secreciones respiratorias y otros signos respiratorios [24]. Por su parte, el distemper o moquillo canino puede presentarse como una enfermedad multisistémica, con compromiso respiratorio, digestivo y neurológico [25].

En la Tabla 6 se presentan los signos orientativos y los principales elementos de diferenciación clínica de las enfermedades caninas consideradas en el modelo.

Tabla 6. Signos orientativos y principales diagnósticos diferenciales de las clases incluidas.

Enfermedad	Signos orientativos registrados	Elementos de diferenciación clínica
Dermatitis	Picazón, caída de pelo y lesiones cutáneas.	Predominio de alteraciones de piel; requiere valorar distribución, ectoparásitos y alergias.
Distemper	Fiebre, secreción ocular o nasal, signos digestivos y convulsiones.	Afectación multisistémica y posible componente neurológico; confirmar con pruebas específicas.
Gastroenteritis	Vómito, diarrea, dolor abdominal, inapetencia y decaimiento.	Cuadro digestivo inespecífico; revisar dieta, duración, edad, vacunación y pruebas.
Otitis	Picazón, lesiones en pabellón, secreción o dolor ótico.	Signos localizados en oído; la otoscopia y citología permiten precisar la causa.
Parasitosis	Diarrea, pérdida de peso, vómito o	Puede ser persistente o recurrente;

	decaimiento.	requiere examen coproparasitario según el caso.
Parvovirus	Vómito, diarrea intensa o sanguinolenta, anorexia y deshidratación.	Mayor sospecha en cachorros o vacunación incompleta; confirmar mediante prueba diagnóstica.
Traqueobronquitis	Tos, estornudos, secreción nasal y posible dificultad respiratoria.	Predominio respiratorio; considerar exposición a otros perros y etiología múltiple.

3.3. MEJORA DEL PROCESO DE ATENCIÓN VETERINARIA

La mejora de procesos busca organizar las actividades de manera más eficiente, reducir tiempos innecesarios y asegurar que la información requerida esté disponible en el momento oportuno. En los servicios de salud, estos enfoques se han utilizado para mejorar el flujo de atención, disminuir actividades que no agregan valor y fortalecer la calidad del servicio [26]. En la atención veterinaria, la estandarización del ingreso de datos y de la anamnesis permite reducir omisiones, ordenar la información clínica y facilitar su uso posterior en procesos de análisis o apoyo predictivo [21].

El proceso propuesto debe mantener puntos de control que permitan asegurar un uso adecuado del modelo: verificación de datos, revisión de la predicción, decisión del veterinario, solicitud de pruebas cuando corresponda, registro del diagnóstico final y retroalimentación del modelo. Estos elementos son importantes porque la predicción debe funcionar como apoyo a la decisión profesional y no como diagnóstico definitivo [3]. La mejora del proceso se puede evaluar mediante indicadores de tiempo, completitud de registros, concordancia entre predicción y diagnóstico final, y nivel de uso de la herramienta, considerando que la evaluación continua permite identificar ajustes necesarios en el modelo y en el flujo de atención [10], [26].

3.4. DESARROLLO DE SISTEMAS INTELIGENTES DE PREDICCIÓN

El desarrollo de sistemas inteligentes de predicción permite transformar los datos clínicos en información útil para apoyar la toma de decisiones en contextos sanitarios. En medicina veterinaria, estos sistemas pueden integrar historiales clínicos, resultados de laboratorio, signos y variables demográficas del paciente para generar estimaciones orientativas sobre posibles enfermedades o riesgos [6], [9]. Para que estas herramientas sean confiables, su implementación debe considerar una base de datos organizada, variables relevantes, entrenamiento de modelos y evaluación de desempeño mediante métricas adecuadas [10]. De esta forma, los modelos

predictivos pueden aportar a una atención más preventiva, organizada y basada en datos, siempre como complemento del criterio profesional.

3.4.1. Calidad y preprocesamiento de datos

El desempeño de los modelos de aprendizaje automático depende de la calidad, consistencia y organización de los datos utilizados durante el entrenamiento. En el ámbito veterinario, los registros clínicos pueden presentar valores faltantes, inconsistencias, duplicidades o formatos heterogéneos, por lo que es necesario aplicar procesos de preprocesamiento antes de utilizarlos en un modelo predictivo [6], [21]. Estas etapas permiten preparar la información, reducir errores y mejorar la confiabilidad del análisis realizado por los algoritmos [10].

- **Limpieza de datos:**

Consiste en identificar y corregir errores, eliminar duplicados, revisar valores faltantes y retirar información irrelevante o inconsistente. Esta etapa permite trabajar con una base más ordenada y confiable para el entrenamiento del modelo.

- **Normalización:**

Consiste en ajustar la escala de las variables numéricas, como edad, peso o temperatura, para que puedan compararse en rangos similares. Esta etapa ayuda a evitar que variables con valores más altos tengan una influencia desproporcionada durante el entrenamiento del algoritmo.

- **Transformación:**

Implica convertir los datos a formatos adecuados para el análisis, como la codificación de variables categóricas, la creación de variables derivadas o la organización de campos clínicos en valores procesables por el modelo. Esta etapa facilita que los algoritmos identifiquen patrones y trabajen correctamente con la información disponible.

- **Acceso y análisis de datos:**

La digitalización de los registros clínicos permite disponer de información más estructurada y consultable, lo que facilita la revisión de antecedentes, resultados de laboratorio, diagnósticos previos y tratamientos aplicados [21]. Además, favorece el análisis de la información disponible y puede apoyar una toma de decisiones clínica más ordenada y fundamentada [7].

- **Entrenamiento de modelos de IA:**

La acumulación de datos históricos organizados permite construir bases de datos útiles para entrenar algoritmos de aprendizaje automático [6]. A partir de esta información, los modelos

pueden identificar patrones clínicos, factores asociados y enfermedades frecuentes, lo que favorece el desarrollo de sistemas predictivos orientados a apoyar el diagnóstico y la prevención [10], [9].

- **Seguimiento clínico continuo:**

La historia clínica electrónica permite registrar la evolución del paciente a lo largo del tiempo, revisar la respuesta a tratamientos y mantener antecedentes clínicos actualizados [21]. Este seguimiento facilita una atención más ordenada y preventiva, además de fortalecer la comunicación con los propietarios mediante información clara y disponible para la toma de decisiones [7].

3.5. SISTEMAS DE APOYO A LA DECISIÓN CLÍNICA

Los sistemas de apoyo a la decisión clínica (*Clinical Decision Support Systems*, CDSS) son herramientas tecnológicas que procesan información clínica para generar alertas, estimaciones o recomendaciones orientativas durante el proceso de atención. Estos sistemas pueden integrar datos de historias clínicas, resultados de laboratorio, signos del paciente y modelos predictivos, con el propósito de apoyar al profesional en la toma de decisiones y reducir la incertidumbre clínica [9], [10]. En medicina veterinaria, su uso debe entenderse como un apoyo al criterio profesional, ya que la decisión final siempre corresponde al veterinario responsable del caso [3].

- **Apoyo a la orientación diagnóstica:**

Los CDSS pueden relacionar síntomas, antecedentes y variables clínicas del paciente con bases de datos o modelos predictivos, generando alertas o estimaciones sobre posibles enfermedades [9]. Esta información permite orientar diagnósticos diferenciales y reducir la incertidumbre durante la valoración, sin reemplazar la revisión clínica ni el criterio del veterinario [3].

- **Mejora de la eficiencia clínica:**

Los CDSS pueden contribuir a organizar el flujo de atención, priorizar casos y facilitar el acceso a información relevante durante la consulta [26]. En el contexto veterinario, estas herramientas también pueden apoyar la revisión de signos clínicos y antecedentes, ayudando al profesional a decidir si se requieren pruebas complementarias o seguimiento adicional [9].

- **Apoyo al profesional veterinario:**

Los CDSS pueden integrar datos históricos, signos clínicos y resultados disponibles para

ofrecer información orientativa durante la consulta [6]. Su utilidad se centra en fortalecer la toma de decisiones del profesional veterinario, facilitar una comunicación más clara con los propietarios y mantener el criterio clínico como elemento central del proceso de atención [3], [7].

- **Mejora del proceso de atención veterinaria:**

La incorporación de tecnologías digitales e inteligencia artificial puede ayudar a organizar mejor el flujo de atención, reducir tiempos improductivos y facilitar el acceso a la información necesaria durante la consulta [26], [8]. Al contar con procesos más ordenados y datos disponibles, la clínica puede ofrecer una atención más ágil y una comunicación más clara con los propietarios [7].

3.6. ÉTICA, PRIVACIDAD Y RESPONSABILIDAD

Los datos clínicos utilizados en esta investigación fueron tratados de forma anonimizada y exclusivamente con fines académicos. Los nombres de propietarios, números de contacto y otros identificadores personales no forman parte de la matriz predictiva, con el fin de proteger la privacidad de las personas vinculadas a los registros clínicos. Además, el acceso a la base de datos y al modelo debe limitarse al personal autorizado, aplicando respaldos y controles de seguridad acordes con la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales del Ecuador [27].

También debe evitarse presentar la predicción del modelo como un diagnóstico definitivo. Los resultados generados por inteligencia artificial pueden orientar el análisis clínico, pero deben interpretarse junto con la valoración del veterinario responsable [3]. Por ello, la interfaz debe comunicar el nivel de confianza, advertir sobre el carácter orientativo de la predicción, registrar la validación profesional y permitir la revisión de casos discordantes. En una implementación futura, también será necesario realizar seguimiento del desempeño y actualizar el modelo cuando cambien las características de los datos o del proceso de atención [22].

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación es cuantitativo, porque se trabaja con datos clínicos estructurados, variables medibles y métricas de evaluación de modelos de clasificación. Las variables consideradas incluyen información demográfica del paciente, signos clínicos y síntomas disponibles antes del diagnóstico, mientras que la enfermedad etiquetada se definió

como variable objetivo. A partir de estos datos se entrenaron y compararon modelos de aprendizaje automático, siguiendo un proceso de modelado predictivo basado en variables de entrada, variable objetivo y evaluación del desempeño [10]. Para la comparación de los modelos se utilizaron indicadores como exactitud, precisión, sensibilidad, especificidad, F1-score y AUC-ROC, métricas ampliamente empleadas en problemas de clasificación [20].

De manera complementaria, se realizó el análisis del proceso actual de atención veterinaria en SIRA PETS para conocer su funcionamiento e identificar cómo el modelo predictivo puede integrarse como herramienta de apoyo para el personal clínico. Este análisis permitió relacionar los resultados obtenidos con la propuesta de mejora del proceso de atención.

4.2. DISEÑO Y ALCANCE

El diseño de la investigación fue no experimental, retrospectivo y de corte transversal, debido a que no se manipularon las condiciones clínicas ni se asignaron tratamientos, sino que se analizaron registros generados previamente durante la atención veterinaria [28]. El alcance fue descriptivo, porque permitió caracterizar los datos clínicos y el proceso actual de atención; evaluativo, porque se comparó el desempeño de diferentes algoritmos de clasificación; y propositivo, porque se diseñó una mejora del flujo de atención basada en los resultados del modelo predictivo.

4.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue aplicada y tecnológica, debido a que parte de una necesidad real identificada en SIRA PETS y la transforma en un modelo funcional acompañado de una propuesta de mejora del proceso de atención. Además, incorporó revisión documental y trabajo de campo mediante la observación del registro clínico y del flujo de atención, elementos propios de un diseño orientado al análisis de información existente y a la generación de una solución práctica [28]. El componente tecnológico se relaciona con el desarrollo y evaluación de modelos predictivos basados en aprendizaje automático [10].

4.4. POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS

La población estuvo constituida por 500 registros clínicos caninos disponibles para el período analizado. La unidad de análisis fue cada atención clínica con diagnóstico registrado. Para delimitar las enfermedades incluidas en el modelo, se aplicó un análisis de frecuencia acumulada mediante clasificación ABC, técnica basada en el principio de Pareto que permite

priorizar los elementos de mayor incidencia dentro de un conjunto de datos [29]. Como resultado, se seleccionaron 396 registros correspondientes a las siete enfermedades que acumularon el 79,2 % de los casos: traqueobronquitis, dermatitis, otitis, distemper, gastroenteritis, parvovirus y parasitosis.

Se trabajó con la totalidad de los registros elegibles correspondientes a la zona A, de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión establecidos. Se incluyeron casos caninos con diagnóstico depurado y datos suficientes para codificar las variables requeridas, mientras que se excluyeron registros duplicados, ilegibles, sin diagnóstico final utilizable o correspondientes a enfermedades con frecuencia insuficiente para el análisis multiclase. Estos criterios permitieron trabajar con una base más consistente para el desarrollo del modelo, de acuerdo con el carácter retrospectivo de la investigación [28].

Las variables predictoras incluyeron datos demográficos y clínicos como edad, peso, raza, sexo, condición reproductiva, signos clínicos y síntomas registrados antes del diagnóstico. La columna de motivo de consulta se utilizó como información descriptiva del caso clínico, pero no fue incorporada como variable predictora en el entrenamiento, con el fin de evitar posibles sesgos o fuga de información durante el modelado [22].

4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Las técnicas empleadas fueron la revisión documental, la observación del proceso de atención, la encuesta, el análisis de datos y el modelado predictivo. La revisión documental permitió recopilar información de historias clínicas, diagnósticos, síntomas y antecedentes registrados en la clínica, mientras que la observación del proceso permitió comprender cómo se desarrolla actualmente la atención veterinaria, desde el ingreso del paciente hasta el registro del diagnóstico y tratamiento. Estas técnicas se relacionan con un diseño no experimental y retrospectivo, en el que se analiza información existente sin intervenir en las condiciones clínicas de los pacientes [28].

La encuesta se utilizó como técnica complementaria para conocer aspectos relacionados con el proceso de atención y justificar la delimitación del estudio a pacientes caninos. De las ocho respuestas obtenidas, el 87,5 % indicó que los perros representan entre el 61 % y el 100 % de las consultas atendidas en la clínica. Este resultado permitió respaldar la selección de los pacientes caninos como población de estudio y orientar el análisis hacia una base de datos más homogénea.

El análisis de datos se utilizó para depurar la base, revisar valores faltantes, estandarizar variables y seleccionar las enfermedades más representativas. Estas actividades son necesarias para mejorar la calidad y consistencia de la información antes del modelado [21]. Posteriormente, mediante técnicas de aprendizaje automático, se entrenaron modelos de clasificación orientados a predecir la enfermedad probable a partir de las características clínicas disponibles antes del diagnóstico [10].

Los instrumentos utilizados fueron las historias clínicas de SIRA PETS, la matriz de datos depurada, el cuestionario de encuesta, Microsoft Excel, Google Colab, Python y la biblioteca Scikit-learn, empleada para el entrenamiento y evaluación de los modelos de aprendizaje automático [30]. También se utilizaron matrices de confusión y métricas de clasificación para comparar el desempeño de los algoritmos [20].

4.6. CARÁCTER DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio tiene carácter documental, de campo y aplicado, e incorpora experimentación computacional en la etapa de modelado. Es documental porque utiliza registros clínicos existentes de la clínica veterinaria SIRA PETS, sin intervenir en las condiciones clínicas de los pacientes [28]. Es de campo porque parte de una necesidad real identificada en el proceso de atención veterinaria. Además, en la etapa de modelado se realizó experimentación computacional mediante el entrenamiento, validación y comparación de varios algoritmos de clasificación supervisada para determinar cuál presentó el mejor desempeño predictivo [10].

4.7. FASES DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la investigación se estructuró en fases metodológicas relacionadas con los objetivos específicos planteados. Estas fases permitieron organizar el trabajo desde el diagnóstico de la situación actual de la clínica veterinaria SIRA PETS hasta el diseño de una propuesta de mejora apoyada en un modelo inteligente para la predicción de enfermedades caninas.

En la primera fase se realizó el diagnóstico de la situación actual del proceso de atención veterinaria. Para ello, se revisó la forma en que la clínica registra la información de los pacientes, los signos clínicos, los síntomas, los tratamientos aplicados y los diagnósticos emitidos. Además, se consideró la información obtenida mediante la encuesta aplicada en la clínica, lo que permitió justificar la delimitación del estudio a pacientes caninos e identificar la necesidad de organizar y aprovechar los datos clínicos históricos como apoyo para la

orientación diagnóstica inicial [6].

La segunda fase correspondió a la recolección, revisión y depuración de la información clínica. En esta etapa se trabajó con una matriz de registros de pacientes caninos, eliminando inconsistencias, revisando valores incompletos y estandarizando los nombres de las enfermedades, ya que la calidad de los datos es un aspecto clave antes de utilizarlos en análisis o modelos predictivos [21]. Además, se delimitaron las patologías consideradas en el estudio: dermatitis, distemper, gastroenteritis, otitis, parasitosis, parvovirus y traqueobronquitis.

En la tercera fase se realizó la preparación de la base de datos para el modelado predictivo. Se definió como variable objetivo la columna Enfermedad_Etiquetada, mientras que las variables predictoras estuvieron conformadas por datos demográficos, signos clínicos y síntomas disponibles antes del diagnóstico. Esta separación entre predictores y variable objetivo es necesaria para estructurar correctamente el desarrollo del modelo [10]. Además, utilizar únicamente variables disponibles antes del diagnóstico permite reducir el riesgo de fuga de información durante el entrenamiento [22]. Posteriormente, se aplicó la codificación de variables categóricas y la organización de variables numéricas o binarias, con el fin de que la información pudiera ser procesada por los algoritmos de aprendizaje automático.

La cuarta fase consistió en el entrenamiento y validación de modelos de clasificación supervisada. Se evaluaron los algoritmos Árbol de Decisión/J48, Random Forest, Naive Bayes y Support Vector Machine con kernel RBF, debido a que representan enfoques distintos de clasificación y permiten comparar el desempeño de modelos interpretables, de ensamble, probabilísticos y basados en separación de clases. Estos métodos pueden aplicarse en problemas de clasificación clínica cuando se dispone de variables predictoras y una clase objetivo definida [5]. Para estimar el rendimiento de los modelos se aplicó validación cruzada estratificada con cinco particiones, conservando la proporción de enfermedades en los grupos de entrenamiento y validación [15].

En la quinta fase se realizó la evaluación comparativa de los modelos. Para ello, se analizaron métricas como exactitud, precisión ponderada, sensibilidad, especificidad, F1-score y AUC-ROC, las cuales permiten valorar el desempeño de un clasificador desde diferentes perspectivas [20]. Estas métricas facilitaron la comparación entre algoritmos y permitieron identificar el modelo con mejor rendimiento para apoyar la predicción de enfermedades caninas.

Finalmente, en la sexta fase se planteó la propuesta de mejora del proceso de atención veterinaria. Esta propuesta considera la incorporación del modelo predictivo como una herramienta de apoyo para el personal de la clínica, permitiendo ingresar los datos de un nuevo paciente y obtener una predicción preliminar de la enfermedad probable. El modelo no reemplaza el criterio del médico veterinario, sino que busca fortalecer la toma de decisiones y aprovechar de mejor manera la información clínica histórica disponible en SIRA PETS [3], [6].

En la Figura 1 se muestran las fases metodológicas desarrolladas durante la investigación, desde el diagnóstico inicial del proceso de atención hasta la propuesta de mejora.

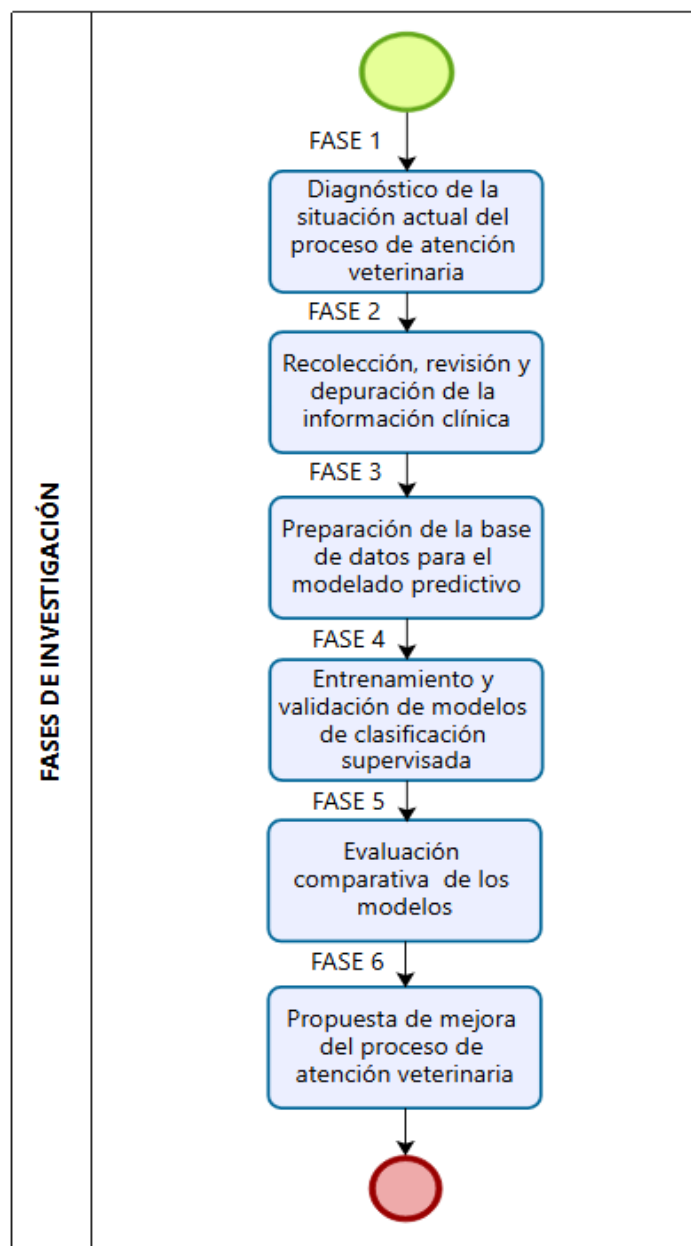


Figura 1. Fases metodológicas de la investigación.

4.8. VARIABLES Y PREPARACIÓN DE LOS DATOS

La variable objetivo fue Enfermedad_Etiquetada, conformada por siete categorías: dermatitis, distemper, gastroenteritis, otitis, parasitosis, parvovirus y traqueobronquitis. El conjunto final utilizó 25 variables predictoras disponibles antes del diagnóstico: cinco variables generales del paciente sexo, edad, raza, peso y condición reproductiva y veinte signos o síntomas codificados en formato binario. Esta decisión permitió trabajar únicamente con información que estaría disponible al momento de la orientación diagnóstica, reduciendo el riesgo de fuga de información durante el entrenamiento del modelo [22]. De acuerdo con el procesamiento aplicado en Google Colab, se trabajó con 21 variables numéricas o binarias y 4 variables categóricas.

Los identificadores, la fecha, el motivo de consulta en texto libre, los tratamientos, la hospitalización y otros campos posteriores a la decisión clínica se conservaron para trazabilidad o análisis descriptivo, pero se excluyeron del entrenamiento para prevenir fuga de información [22]. Las categorías se estandarizaron, los signos se codificaron como 1 = presente y 0 = ausente, y las variables categóricas se transformaron mediante codificación apropiada dentro del flujo de procesamiento del modelo [10].

4.9. ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN DE MODELOS

Se evaluaron los algoritmos Árbol de Decisión/J48, Random Forest, Naive Bayes y SVM con kernel RBF. Para estimar el rendimiento interno se aplicó validación cruzada estratificada de cinco particiones, con el fin de conservar la proporción de enfermedades en los subconjuntos de entrenamiento y validación[31]. En esta estrategia, los 396 registros se mezclaron de forma reproducible y se dividieron en cinco grupos aproximadamente equivalentes. En cada iteración, cuatro grupos se utilizaron para entrenar el modelo, lo que representa alrededor del 80 % de los datos, mientras que el grupo restante se empleó para validación, equivalente aproximadamente al 20 %. Este proceso se repitió cinco veces, rotando el grupo de validación, de manera que cada registro fue utilizado una vez para validar y cuatro veces para entrenar.

A diferencia de una partición tradicional 80/20, en la cual el mismo conjunto de prueba permanece separado durante toda la evaluación, la validación cruzada permite aprovechar todos los registros disponibles para entrenamiento y validación en distintos momentos[32]. Por esta razón, la evaluación del modelo no dependió de una sola división aleatoria, sino del promedio obtenido en cinco iteraciones estratificadas.

Los parámetros y transformaciones se ajustaron únicamente con los datos de entrenamiento de cada iteración, con el fin de evitar que la información de validación influyera en el aprendizaje del modelo [22]. Las predicciones acumuladas de los cinco pliegues se utilizaron para elaborar matrices de confusión y métricas comparables entre algoritmos [20]. Esta estrategia reduce la dependencia de una sola división de los datos y conserva la proporción de clases en cada pliegue [15].

4.10. MÉTRICAS Y CRITERIO DE SELECCIÓN

Los modelos se compararon mediante exactitud, precisión ponderada, sensibilidad, especificidad, F1-score, AUC-ROC macro y AUC-ROC ponderado. El modelo seleccionado debía presentar el mejor equilibrio general, con especial atención al F1-score, la capacidad de diferenciación entre clases y los patrones de error observados en la matriz de confusión [20].

4.11. PRUEBA FUNCIONAL CON CASOS ADICIONALES

Después de seleccionar el modelo, se procesaron 72 casos adicionales para realizar una prueba funcional del sistema. De estos registros, dos correspondieron a casos reales anonimizados proporcionados por SIRA PETS y 70 fueron casos sintéticos elaborados mediante extrapolación clínica. Para su construcción se tomaron como referencia los patrones de síntomas y signos presentes en los 396 registros clínicos depurados, junto con la sintomatología general indicada por el personal veterinario para las siete enfermedades consideradas. Estos casos conservaron las mismas 25 variables predictoras utilizadas durante el entrenamiento y no fueron incorporados al aprendizaje del modelo; su finalidad fue comprobar si el sistema podía generar predicciones coherentes ante nuevas combinaciones clínicas.

Luego, se comparó la enfermedad predicha con el criterio veterinario registrado. Las probabilidades se agruparon en niveles de confianza alta, media y baja para facilitar la interpretación de los resultados. Esta prueba se consideró una validación funcional inicial y no una validación externa definitiva, debido a que los casos procedieron del mismo contexto institucional; por ello, los resultados deben interpretarse como una primera aproximación al desempeño del modelo en nuevos registros de SIRA PETS [10], [22].

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1

5.1.1. Diagnóstico del proceso actual de atención clínica

El desarrollo del primer objetivo específico tuvo como finalidad diagnosticar el proceso actual de atención clínica de la veterinaria SIRA PETS y revisar la calidad de la información disponible para el diseño de un modelo inteligente de predicción de enfermedades veterinarias. Este diagnóstico permitió reconocer cómo se genera, registra, organiza y utiliza la información clínica durante la atención del paciente, así como determinar si los datos históricos eran suficientes para construir una matriz estructurada de aprendizaje automático [21], [6].

El análisis se realizó a partir de una revisión documental retrospectiva de la información clínica de la veterinaria, complementada con la depuración de la base de datos, la selección de enfermedades mediante análisis ABC y la identificación de variables clínicas relevantes. El análisis ABC permitió priorizar las enfermedades de mayor frecuencia dentro del conjunto de registros, de acuerdo con el principio de Pareto [29]. De esta manera, el diagnóstico no se limitó a describir el proceso de atención, sino que también permitió justificar la necesidad de mejorar la estandarización del registro clínico y apoyar la toma de decisiones con herramientas predictivas [21].

5.1.2. Levantamiento y revisión de la información clínica

Para conocer la situación actual de la veterinaria SIRA PETS, se efectuó el levantamiento de información mediante la revisión de documentos clínicos y bases de datos internas. Esta revisión permitió identificar las fuentes utilizadas en la atención diaria, el tipo de información registrada y la utilidad de cada documento para construir la matriz clínica del estudio. En medicina veterinaria, los registros clínicos constituyen una fuente valiosa para organizar información del paciente y desarrollar análisis basados en datos [6].

Los documentos analizados fueron las historias clínicas de los pacientes, los registros de pacientes nuevos y recurrentes, la matriz clínica consolidada y los archivos de análisis derivados de la depuración de datos. Dentro de estos documentos se encontraron datos demográficos, datos clínicos, signos y síntomas, diagnósticos emitidos por el veterinario y tratamientos aplicados. Esta información constituyó la base para estructurar las variables del modelo predictivo, diferenciando entre variables de entrada y variable objetivo [10].

En la Tabla 7 se presentan las fuentes de información clínica revisadas para el diagnóstico inicial y la construcción de la matriz de datos del estudio.

Tabla 7. Fuentes de información clínica revisadas.

Fuente de información	Tipo de soporte	Datos encontrados	Propósito dentro del diagnóstico
Historias clínicas	Físico y digital	Antecedentes, motivo de consulta, síntomas, evolución clínica y diagnóstico.	Reconocer patrones clínicos registrados durante la atención veterinaria.
Registros de pacientes	Base digital	Especie, edad, raza, sexo, peso y datos generales del paciente.	Caracterizar la población atendida por la veterinaria.
Matriz clínica general	Hoja de cálculo	Diagnósticos, síntomas, signos clínicos, tratamientos y fecha de consulta.	Consolidar los datos para el análisis estadístico y la depuración.
Matriz final del modelo	Hoja de cálculo	Variables codificadas en formato binario y enfermedad etiquetada.	Preparar la información para el entrenamiento del modelo inteligente.
Análisis ABC	Hoja de cálculo	Frecuencia, porcentaje y porcentaje acumulado de enfermedades.	Seleccionar las enfermedades de mayor incidencia para el alcance del modelo.

Como parte del levantamiento de información, también se consideraron los resultados de la encuesta aplicada en SIRA PETS. De las ocho respuestas obtenidas, siete señalaron que los perros representan entre el 61 % y el 100 % de las consultas atendidas, equivalente al 87,5 % de los encuestados. Este resultado permitió identificar a los caninos como la especie predominante y respaldó la delimitación de la población utilizada para el desarrollo del modelo.

En la revisión de la matriz final se verificó que los registros utilizados para el modelo correspondieran únicamente a pacientes caninos. Esta delimitación fue pertinente porque permitió trabajar con una población clínicamente más comparable y con variables más consistentes para el análisis. Incluir especies distintas en una misma matriz habría aumentado la variabilidad de los registros y dificultado la interpretación de los patrones aprendidos por los algoritmos. Por esta razón, el estudio se delimitó a pacientes caninos, con el fin de organizar una base de datos más homogénea para el desarrollo del modelo predictivo [10].

La matriz final contiene 396 registros caninos, por lo que la especie quedó estandarizada al 100 %. Asimismo, el periodo de información clínica revisado comprende registros desde febrero de

2021 hasta julio de 2026. Este volumen permitió disponer de una base de datos suficiente para analizar las enfermedades de mayor frecuencia y construir una matriz orientada a la predicción diagnóstica.

5.1.3. Depuración de la base de datos y selección de enfermedades

Una vez identificadas las fuentes de información, se procedió a depurar la base de datos clínica. Este paso fue necesario porque la información provenía de registros elaborados de forma manual o semiestructurada, lo que generó diferencias en la escritura de enfermedades, presencia de datos incompletos y variaciones en la forma de registrar síntomas o tratamientos. Este tipo de inconsistencias es común en registros clínicos y puede afectar la calidad de los datos utilizados para análisis o modelado predictivo [6], [21].

La depuración consistió en eliminar registros duplicados, corregir nombres de enfermedades y síntomas, revisar campos vacíos, unificar diagnósticos equivalentes y homologar los términos clínicos bajo una misma etiqueta. Por ejemplo, diagnósticos expresados con nombres distintos, pero clínicamente relacionados fueron agrupados bajo una denominación estándar, con el propósito de evitar que el modelo interpretara una misma enfermedad como clases diferentes. Esta estandarización permitió preparar la variable objetivo y las variables clínicas de forma más adecuada para el entrenamiento de los algoritmos [10].

También se revisaron los campos vacíos y la consistencia de las variables. En la matriz final depurada no se identificaron campos vacíos críticos para el modelado, debido a que las variables fueron revisadas, estandarizadas y organizadas antes del entrenamiento. Este proceso permitió trabajar con una base más consistente y adecuada para la aplicación de los algoritmos de aprendizaje automático, considerando que la calidad del dato influye en la confiabilidad de los análisis posteriores [21].

Después de la limpieza, se aplicó el análisis ABC o principio de Pareto para seleccionar las enfermedades de mayor incidencia. Este análisis permitió ordenar las patologías según su frecuencia y porcentaje acumulado, con el fin de priorizar aquellas que representan la mayor carga de atención en la veterinaria [29].

En la Tabla 8 se presenta la frecuencia de enfermedades registradas antes del proceso de depuración y selección de las patologías consideradas en el modelo.

Tabla 8. Frecuencia de enfermedades registradas antes de la depuración.

Diagnóstico clínico	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado	Zona ABC
Traqueobronquitis	89	17,8 %	17,8 %	A
Dermatitis	63	12,6 %	30,4 %	A
Otitis	60	12,0 %	42,4 %	A
Distemper	57	11,4 %	53,8 %	A
Gastroenteritis	52	10,4 %	64,2 %	A
Parvovirus	48	9,6 %	73,8 %	A
Parasitosis	27	5,4 %	79,2 %	A
Cistitis	20	4,0 %	83,2 %	B
Epilepsia	18	3,6 %	86,8 %	B
Pancreatitis	16	3,2 %	90,0 %	B
Absceso	15	3,0 %	93,0 %	B
Neoplasia	11	2,2 %	95,2 %	C
Piometra	9	1,8 %	97,0 %	C
Conjuntivitis	7	1,4 %	98,4 %	C
Artrosis/Artritis	4	0,8 %	99,2 %	C
Hipotiroidismo	2	0,4 %	99,6 %	C
Mastocitoma	2	0,4 %	100,0 %	C
Total	500	100,0 %	-	-

En la Tabla 9 se presenta el análisis ABC aplicado a las enfermedades registradas, con el fin de identificar las patologías de mayor incidencia para definir el alcance del modelo predictivo.

Tabla 9. Análisis ABC de enfermedades para definir el alcance del modelo.

Clasificación	Criterio	Diagnósticos incluidos	Peso estadístico	Decisión metodológica
Zona A	Alta incidencia	Traqueobronquitis, Dermatitis, Otitis, Distemper, Gastroenteritis, Parvovirus y Parasitosis.	396 casos; 79,2 % acumulado.	Incluir en el modelo predictivo.
Zona B	Incidencia media	Cistitis, Epilepsia, Pancreatitis y Absceso.	69 casos; 13,8 %.	No incluir en esta fase; considerar en futuras ampliaciones.
Zona C	Baja incidencia	Neoplasia, Piometra, Conjuntivitis, Artrosis/Artritis, Hipotiroidismo y Mastocitoma.	35 casos; 7,0 %.	Excluir por baja frecuencia y alta dispersión clínica.

El análisis ABC mostró que siete enfermedades concentran 396 de los 500 registros diagnósticos iniciales, equivalentes al 79,2 % del total. Por tanto, la selección de estas patologías no fue arbitraria, sino que respondió a un criterio de incidencia y relevancia operativa basado en la priorización de los elementos de mayor frecuencia [29]. Esta delimitación permitió orientar el modelo inteligente hacia los problemas clínicos más frecuentes de SIRA PETS y trabajar con clases con suficiente representación para el proceso de entrenamiento y evaluación [10].

Con base en este procedimiento, la lista final de enfermedades seleccionadas para el modelo quedó conformada por: dermatitis, distemper, gastroenteritis, otitis, parasitosis, parvovirus y traqueobronquitis. Estas enfermedades reúnen suficiente frecuencia para ser analizadas y presentan signos clínicos que pueden organizarse como variables de entrada para el modelo predictivo [10].

5.1.4. Análisis de variables clínicas relevantes

Una vez seleccionadas las enfermedades, se definieron las variables clínicas y demográficas que serían utilizadas para estructurar la matriz predictiva. La matriz final utilizada para el entrenamiento contiene 396 registros y 26 columnas: 25 variables predictoras disponibles antes del diagnóstico y una variable objetivo denominada Enfermedad_Etiquetada. Para el entrenamiento del modelo se excluyeron identificadores, fecha, especie, motivo de consulta en texto libre y variables relacionadas con tratamientos u hospitalización, debido a que no constituyen información predictiva previa o podrían generar fuga de información [22].

Las variables demográficas ayudan a contextualizar la condición general del paciente. La edad, el sexo, el peso, la raza y la condición reproductiva aportan información útil para interpretar el caso clínico y complementar los signos observados durante la consulta. Por su parte, las variables clínicas representan el núcleo del modelo, porque describen los síntomas y signos registrados antes del diagnóstico, tales como vómito, diarrea, fiebre, tos, secreciones, picazón, lesiones cutáneas, decaimiento o pérdida de apetito.

Las variables relacionadas con tratamientos, como antibiótico, antiinflamatorio, antiparasitario, gastroprotector, fluidoterapia y hospitalización, fueron revisadas en la matriz original porque forman parte de los registros clínicos. Sin embargo, no fueron utilizadas como variables predictoras en el entrenamiento, ya que corresponden a decisiones posteriores a la valoración veterinaria y podrían influir artificialmente en el desempeño del modelo [22].

En la Tabla 10 se presentan las variables seleccionadas para el entrenamiento del modelo predictivo, diferenciando la variable objetivo y las variables predictoras utilizadas.

Tabla 10. Variables seleccionadas para el modelo predictivo.

Variable o grupo	Categoría	Tipo	Descripción	Uso en el modelo
Datos demográficos	Demográfica	Numérica / categórica	Sexo, Edad_Años, Raza, Peso_Kg y Castrado.	Contextualizan al paciente y ayudan a segmentar patrones clínicos.
Síntomas digestivos	Clínica	Binaria 0/1	Vómito, diarrea, dolor abdominal, pérdida de apetito y pérdida de peso.	Diferencian cuadros gastrointestinales y sistémicos.
Signos respiratorios	Clínica	Binaria 0/1	Tos, estornudos, secreción nasal, secreción ocular y dificultad respiratoria.	Apoyan la detección de traqueobronquitis y distemper.
Signos dermatológicos	Clínica	Binaria 0/1	Picazón, caída de pelo y lesiones cutáneas.	Permiten discriminar dermatitis, otitis y parasitosis.
Signos generales y otros	Clínica	Binaria 0/1	Fiebre, decaimiento, sangrado, convulsiones, cojera, poliuria y polidipsia.	Indican severidad y ayudan al descarte diferencial.
Enfermedad_Etiquetada	Variable objetivo	Catégorico multiclase	Diagnóstico final depurado.	Variable objetivo que el modelo debe predecir.

5.1.5. Mapa de procesos

El mapa de procesos permite representar de forma general la organización interna de SIRA PETS, diferenciando los procesos estratégicos, misionales y de apoyo que intervienen en la prestación del servicio veterinario. Esta representación facilita la comprensión del funcionamiento de la clínica y permite ubicar el proceso de atención dentro de la estructura operativa general.

En la Figura 2 se presenta el mapa de procesos de SIRA PETS, utilizado como base para el levantamiento y análisis del proceso actual de atención veterinaria.

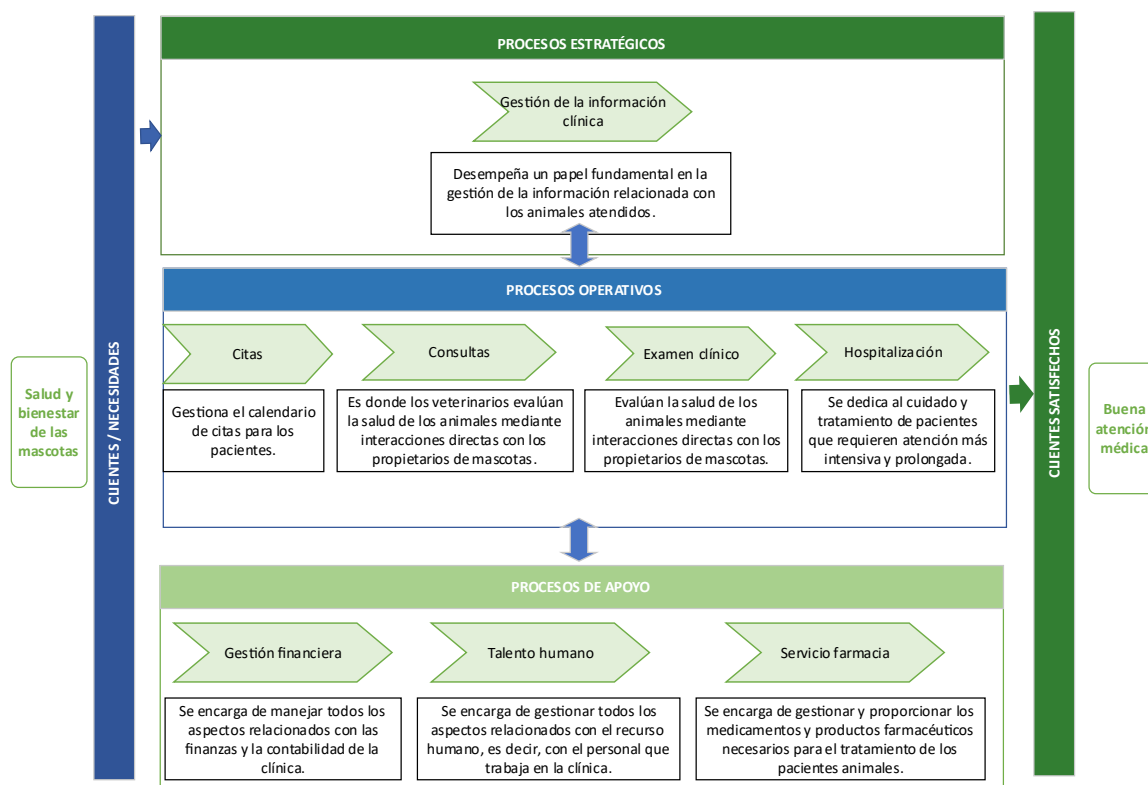


Figura 2. Mapa de procesos de SIRA PETS.

5.1.6. Levantamiento de procesos

El levantamiento de procesos permite describir de forma organizada las actividades que se realizan dentro de una organización, identificando la secuencia de trabajo, los responsables, las entradas, las salidas y los puntos donde se genera información relevante. En servicios de salud, el mapeo de procesos se utiliza para comprender el recorrido de atención, visualizar actividades y reconocer oportunidades de mejora en el flujo del servicio [33]. Para SIRA PETS, el levantamiento se desarrolló tomando como base el mapa de procesos entregado por la clínica y conservando su clasificación en procesos estratégicos, misionales y de apoyo.

El documento comprende los procesos principales identificados en la clínica, incluyendo aquellos relacionados con la atención, hospitalización y apoyo operativo.

- **Procesos estratégicos**

En el mapa institucional, estos procesos administran la información base del paciente y la continuidad de su registro clínico. Su función es mantener datos confiables para orientar las decisiones y facilitar el seguimiento de la atención, considerando que la calidad y disponibilidad de la información clínica influyen en su utilidad para análisis y toma de decisiones [21].

En la Tabla 11 se describen los procesos estratégicos identificados en SIRA PETS, relacionados con la gestión de la información base del paciente y la continuidad del registro clínico.

Tabla 11. Procesos estratégicos de SIRA PETS.

 SIRA PETS PROCESOS ESTRATÉGICOS (PE)		
Código	Proceso	Subprocesos / actividades principales
PE-1	Gestión de la información clínica	• Captura de datos del propietario y paciente. • Verificación de registros existentes. • Creación, actualización y validación del registro. • Registro de antecedentes y atenciones. • Actualización de diagnóstico, tratamiento y controles. • Consulta de la historia para seguimiento clínico.

- **Procesos operativos**

Los procesos operativos constituyen la cadena principal de valor de SIRA PETS. Inician con el contacto del propietario y el paciente, y finalizan con el registro del servicio, el pago, la entrega de indicaciones o documentos y la despedida.

En la Tabla 12 se describen los procesos misionales de SIRA PETS, los cuales conforman la cadena principal de valor del servicio veterinario.

Tabla 12. Procesos operativos de SIRA PETS.

 SIRA PETS PROCESOS OPERATIVOS (PO)		
Código	Proceso	Subprocesos / actividades principales
PO-1	Citas	• Recibir la solicitud • Identificar paciente y servicio • Valorar urgencia aparente
PO-2	Consulta	• Confirmar motivo de consulta • Realizar anamnesis • Revisar antecedentes

PO-3	Examen clínico	• Preparar al paciente • Medir signos vitales • Realizar examen físico
PO-4	Hospitalización	• Admitir al paciente • Asignar espacio clínico • Programar cuidados

• **Procesos de apoyo**

Los procesos de apoyo suministran los recursos económicos, humanos, medicamentos e insumos necesarios para que la atención clínica se ejecute de manera continua, organizada y controlada.

En la Tabla 13 se presentan los procesos de apoyo de SIRA PETS, los cuales proporcionan los recursos económicos, humanos, medicamentos e insumos necesarios para la continuidad del servicio veterinario.

Tabla 13. Procesos de apoyo de SIRA PETS.

 SIRA PETS PROCESOS DE APOYO (PA)		
Código	Proceso	Subprocesos / actividades principales
PA-1	Gestión financiera	• Registro y control de ingresos y egresos. • Conciliación de caja y bancos. • Pagos, cobros y reportes económicos.
PA-2	Talento humano	• Organización de funciones y horarios. • Inducción, capacitación y evaluación. • Control de registros del personal.
PA-3	Servicio de farmacia	• Recepción y almacenamiento de medicamentos. • Dispensación conforme a prescripción. • Control de inventario, caducidades y reposición.

- **Descripción de los procesos estratégicos de la clínica veterinaria**

Gestión de la información clínica

En la Figura 3 se muestra el proceso de gestión de la información clínica, etapa en la que se verifica si el paciente ya se encuentra registrado y se actualizan o crean los datos necesarios para continuar con la atención veterinaria.



Figura 3. Área de gestión de la información clínica SIRA PETS.

En la Tabla 14 se describe de manera secuencial el proceso de gestión de la información clínica de SIRA PETS, detallando las actividades realizadas desde la solicitud de datos iniciales hasta el almacenamiento de la información clínica del paciente. Estas actividades permiten reducir duplicidades, validar la información del propietario y mantener disponible la ficha del paciente para la atención veterinaria.

Tabla 14. Levantamiento de procesos: Gestión de la información clínica.

		Proceso	Gestión de la información clínica.
		Código	PE-1
Objetivo	Registrar y mantener actualizados los datos de identificación del paciente y de su propietario para facilitar la atención, el seguimiento y la comunicación con la clínica.		
Entradas	Datos del propietario; datos del paciente; motivo general de consulta; consentimiento para el uso de información.		
Recursos	Recepcionista o auxiliar; computador; sistema o formulario de registro; teléfono; conexión a internet; documentos de identificación cuando corresponda.		
Salidas	Paciente registrado o actualizado; código o ficha identificada; datos verificados y disponibles para la atención.		
N.º	Actividad	Descripción	

1	Solicitar datos iniciales	Se solicita la información básica del propietario y del paciente.
2	Buscar registro existente	Se revisa el sistema para comprobar si el paciente ya se encuentra registrado.
3	Crear o actualizar registro	Se crea un nuevo registro o se corrigen y actualizan los datos existentes.
4	Validar información	Se confirma con el propietario que nombres, contactos y datos del paciente sean correctos.
5	Guardar el registro	Se almacena la información y se deja disponible para la ficha clínica y la atención.

En la figura 4 se representa el diagrama de flujo del proceso de gestión de la información clínica modelado en Bizagi, donde se muestra la secuencia desde la solicitud de datos hasta el almacenamiento de la información en el sistema.

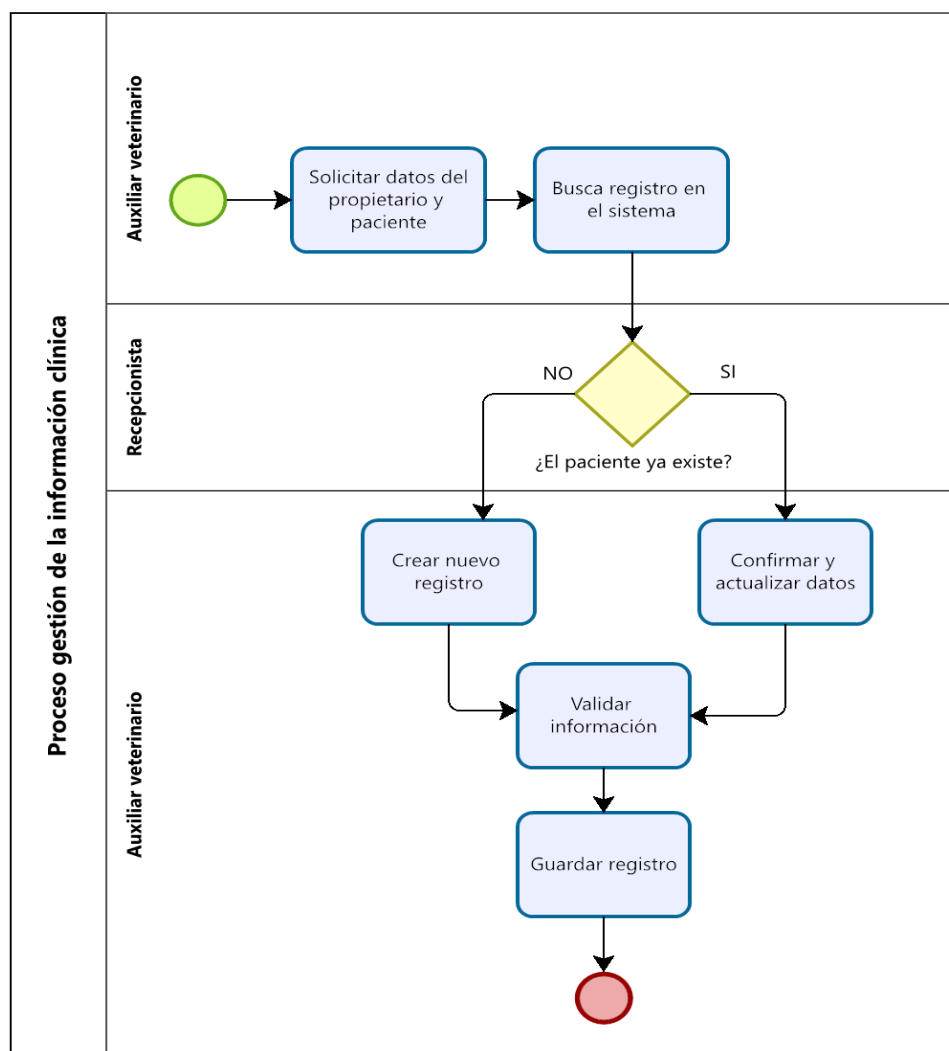


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de gestión de la información clínica.

El proceso inicia con la solicitud de los datos del propietario y del paciente. El personal de recepción recopila la información básica y realiza una búsqueda en el sistema para verificar si el paciente ya se encuentra registrado. Si el paciente no existe, se crea un nuevo registro; si ya existe, se confirman y actualizan los datos disponibles. Posteriormente, en ambos casos, se valida la información proporcionada para comprobar que los datos sean correctos. Finalmente, se guarda el registro en el sistema, quedando la información disponible para continuar con el proceso de atención veterinaria.

- **Descripción de los procesos operativos de la clínica veterinaria**

Proceso de citas

El proceso de citas inicia cuando el propietario de la mascota se comunica con la clínica veterinaria para solicitar una atención. El personal encargado verifica la disponibilidad de horarios del médico veterinario y recopila la información necesaria del paciente, como nombre, especie, motivo de consulta y datos de contacto del propietario. Posteriormente, se establece la fecha y hora de atención según la disponibilidad de la agenda y las necesidades del paciente.

Una vez confirmada la cita, la información queda registrada en el sistema o medio de control utilizado por la clínica, permitiendo organizar la programación diaria de consultas. Antes de la atención, se realiza la confirmación de la cita con el propietario para reducir ausencias y facilitar la planificación del servicio. Finalmente, el paciente es ingresado al flujo de atención veterinaria correspondiente, donde se continúa con la evaluación clínica y registro de la información médica.

En la Figura 5 se observa el proceso de citas, mediante el cual se identifica el servicio requerido, la disponibilidad de atención y la prioridad del caso antes de confirmar la fecha y hora correspondiente.



Figura 5. Proceso de citas en SIRA PETS.

En la Tabla 15 se presenta el levantamiento del proceso de citas, considerando las actividades necesarias, permitiendo identificar de manera clara las etapas necesarias para la programación, registro y confirmación de la atención veterinaria dentro de la clínica. Estas actividades permiten organizar la disponibilidad del personal médico, gestionar la información del paciente y garantizar un flujo adecuado desde la solicitud inicial hasta la consulta programada.

Tabla 15. Levantamiento de procesos: Citas.

		Proceso	Citas
		Código	PO-1
Objetivo		Programar la atención veterinaria de forma ordenada, oportuna y priorizada, evitando cruces de horario y comunicando claramente las condiciones de la cita.	
Entradas		Llamada, mensaje o visita; solicitud de atención; datos del paciente; servicio requerido; disponibilidad del propietario y de la clínica.	
Recursos		Recepcionista; teléfono o mensajería; agenda física o digital; horarios de profesionales; catálogo de servicios; sistema de registro.	
Salidas		Cita registrada y confirmada; prioridad asignada; fecha, hora, servicio y requisitos comunicados al propietario.	
N.º	Actividad	Descripción	
1	Recibir la solicitud	Se atiende la llamada, mensaje o visita del propietario.	
2	Identificar paciente y servicio	Se confirman datos básicos y el tipo de atención solicitada.	
3	Valorar urgencia aparente	Se identifican señales informadas que requieran atención inmediata.	
4	Consultar disponibilidad	Se revisan horarios del profesional y recursos necesarios.	
5	Registrar la cita	Se ingresan fecha, hora, paciente, servicio y observaciones.	
6	Confirmar condiciones	Se informa puntualidad, requisitos previos y canal de contacto.	

En la Figura 6 se muestra el diagrama de flujo del proceso de citas, siendo este el elemento adecuado para llevar a cabo el proceso de gestión de citas a partir de la solicitud inicial hasta el

registro y la confirmación final de la cita. En dicho flujo se introduce un punto de decisión crítico para determinar si el paciente presenta síntomas que vayan a requerir tratamiento en el momento en que se determina el contenido de la cita. Esto hace posible el desvío del flujo para dar cabida bien al caso prioritario o de emergencia o bien a comprobar la disponibilidad de agenda para finalmente acordar la fecha y la hora.

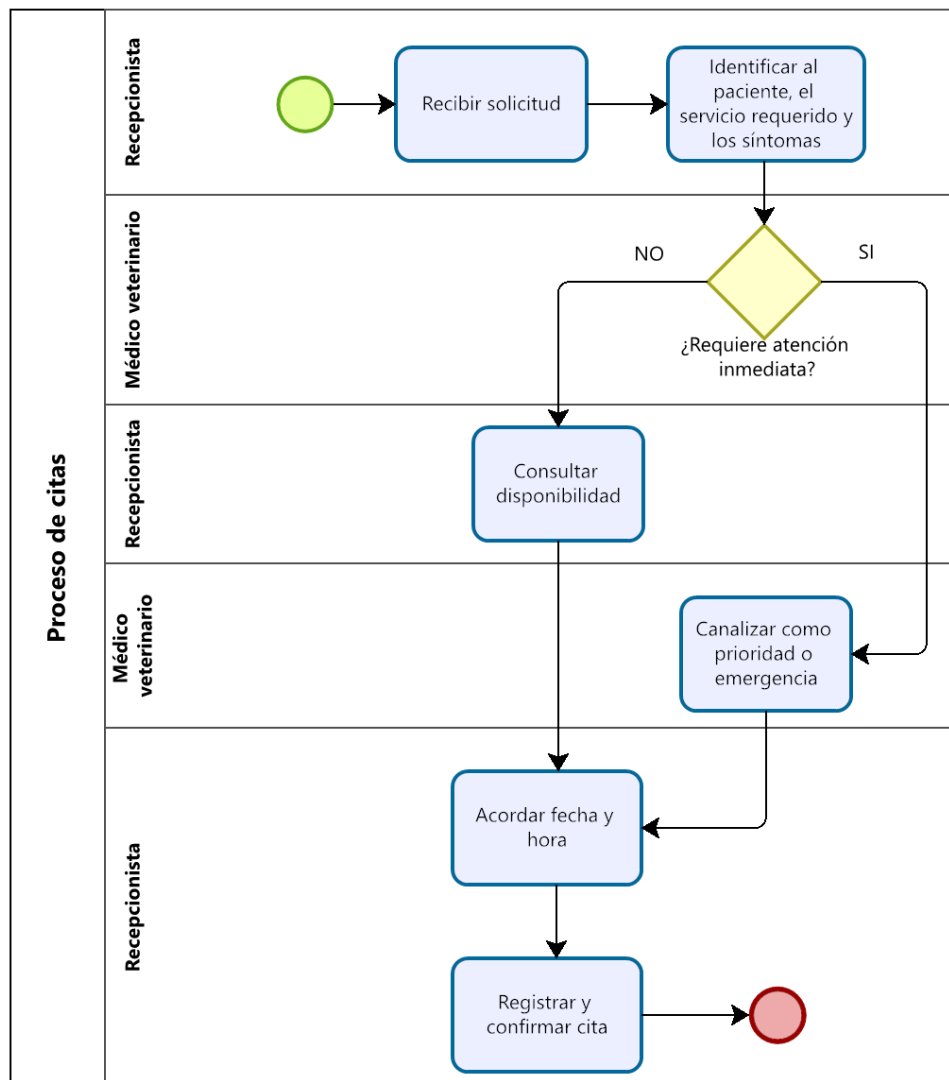


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de citas.

Este diagrama facilita una clara identificación de la secuencia de actividades del proceso de las citas, permitiendo organizar mejor la atención veterinaria; el punto de decisión es un filtro fundamental que facilita clasificar al paciente desde el primer contacto, siendo así que el caso urgente sigue el recorrido adecuado en paralelo y que la consulta de rutina pasa por la revisión de disponibilidad de horarios; así la clasificación de las citas permite no generar cuellos de botellas, tiempos de espera excesivos y una cadena de atención clínica SIRA PETS ágil e incorporada a una organización.

Proceso de consultas

El proceso de consultas constituye una de las actividades principales dentro de la atención veterinaria, debido a que permite realizar la evaluación clínica del paciente mediante la recopilación de información, análisis de signos y síntomas, y determinación de una orientación diagnóstica. En esta etapa, el médico veterinario realiza la valoración física de la mascota, revisa antecedentes registrados y recopila datos relevantes que permitan establecer las posibles causas del estado de salud del paciente.

Durante este proceso se controla que la información clínica proporcionada por el propietario sea completa y que los datos del paciente se encuentren correctamente registrados en la historia clínica. Además, se verifica la presencia de signos clínicos, antecedentes médicos y resultados de evaluaciones previas, ya que la calidad de esta información influye directamente en la precisión del diagnóstico y en la selección del tratamiento adecuado.

En la Figura 7, se ilustra el área destinada al proceso de consultas veterinarias, donde se desarrolla la evaluación médica del paciente mediante la interacción entre el propietario y el profesional veterinario. Este proceso permite identificar alteraciones en la salud del animal, registrar información clínica relevante y establecer las acciones necesarias para continuar con la atención, contribuyendo a un servicio organizado y orientado al bienestar del paciente.

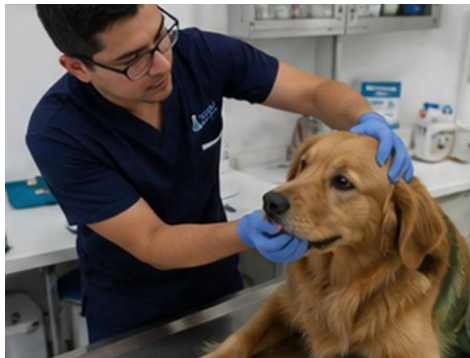


Figura 7. Área destinada al proceso de consultas veterinarias.

En la Tabla 16 se presenta el levantamiento del proceso de consulta veterinaria, la recopilación de información clínica, la anamnesis y el registro de la valoración inicial del paciente.

Tabla 16. Levantamiento de procesos: Consulta.

		Proceso	Consulta
		Código	PO-2
Objetivo		Obtener información clínica relevante mediante entrevista y revisión de antecedentes, definiendo el enfoque inicial de evaluación del paciente.	
Entradas		Paciente; propietario; motivo de consulta; registro e historial clínico; observaciones y antecedentes comunicados.	
Recursos		Médico veterinario; auxiliar; consultorio; sistema de historia clínica; formatos de anamnesis; elementos de bioseguridad.	
Salidas		Anamnesis registrada; problema principal definido; antecedentes relevantes identificados; orientación para el examen clínico.	
N.º	Actividad	Descripción	
1	Confirmar motivo de consulta	Se precisa la razón principal por la que se solicita atención.	
2	Se realiza recopilación de información	Se consulta inicio, evolución, alimentación, vacunas, hábitos y tratamientos.	
3	Revisar antecedentes	Se analiza el historial clínico y eventos previos relevantes.	
4	Identificar factores de riesgo	Se reconocen exposiciones, enfermedades previas y condiciones asociadas.	
5	Definir enfoque de evaluación	Se determinan sistemas y aspectos que deben examinarse.	
6	Registrar la consulta	La información se documenta en la ficha clínica.	

En la Figura 8 se presenta la secuencia del proceso de consulta veterinaria, desde la confirmación del motivo de consulta hasta el registro de información del paciente y la definición del enfoque de evaluación. El examen clínico corresponde al proceso siguiente.

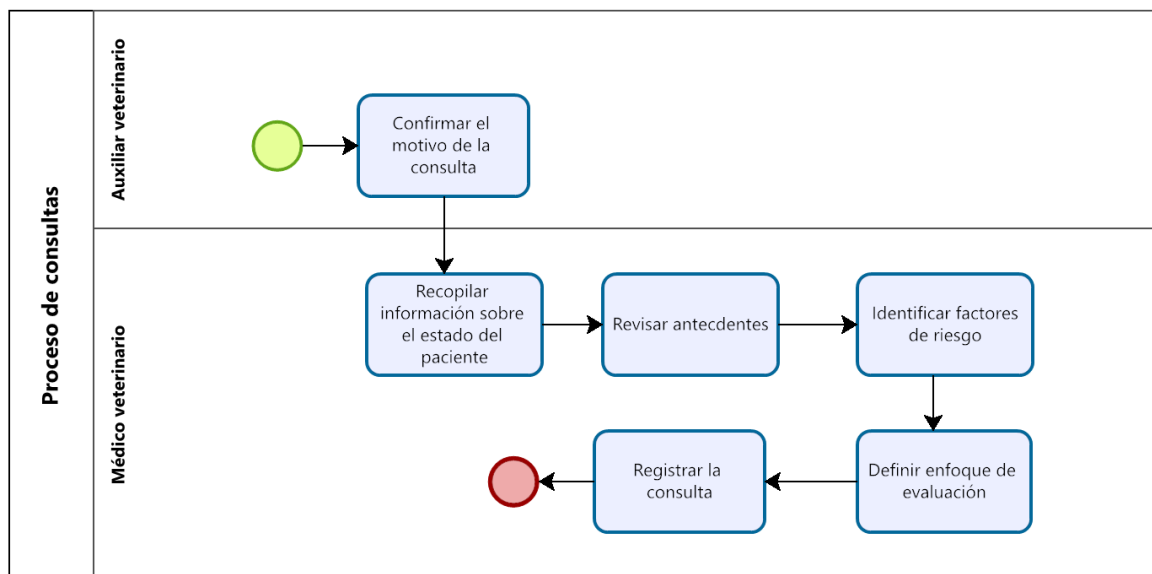


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de consulta veterinaria.

Durante la consulta, el veterinario confirma el motivo de la consulta y recopila información sobre el estado del paciente. Posteriormente, revisa los antecedentes e identifica los factores de riesgo asociados. Con la información recopilada, se define el enfoque de evaluación y se registra la consulta.

Proceso de examen clínico

El proceso de examen clínico constituye una etapa fundamental dentro de la atención veterinaria, destinada a la evaluación física y recopilación de información del estado de salud del paciente. En este espacio, el médico veterinario realiza la valoración del animal mediante la revisión de signos vitales, condición corporal, comportamiento, antecedentes clínicos y manifestaciones observadas durante la consulta. Este proceso permite obtener información necesaria para orientar el diagnóstico y establecer las acciones posteriores de atención.

Asimismo, el examen clínico permite complementar la información proporcionada por el propietario mediante una evaluación directa del paciente, identificando posibles alteraciones o signos asociados a determinadas enfermedades. Durante esta etapa se registran hallazgos relevantes en la historia clínica, asegurando que los datos obtenidos sean organizados y utilizados como apoyo para la toma de decisiones veterinarias.

De esta manera se puede evidenciar en la Figura 9, que el espacio destinado al examen clínico contribuye a la correcta evaluación del paciente antes de definir un diagnóstico o tratamiento, permitiendo desarrollar una atención más ordenada, precisa y enfocada en el bienestar animal.

En la Figura 9 se observa el proceso de examen clínico, etapa en la que se evalúa el estado de salud del paciente mediante signos vitales, examen físico y pruebas complementarias cuando son necesarias.



Figura 9. Proceso de examen clínico en SIRA PETS.

En la Tabla 17 se presenta el levantamiento del proceso de examen clínico, considerando la evaluación física, el registro de signos vitales y la solicitud de pruebas complementarias cuando corresponde.

Tabla 17. Levantamiento de procesos: Examen clínico.

		Proceso	Examen clínico
		Código	PO-4
Objetivo		Obtener hallazgos clínicos objetivos y confiables mediante examen físico y pruebas complementarias para orientar el diagnóstico y el tratamiento.	
Entradas		Paciente; anamnesis; historial clínico; motivo de consulta; observaciones iniciales.	
Recursos		Médico veterinario; auxiliar; consultorio; termómetro; estetoscopio; balanza; equipos de exploración; pruebas y elementos de bioseguridad.	
Salidas		Signos vitales y hallazgos registrados; resultados de pruebas; problemas clínicos identificados; información remitida al diagnóstico.	
N.º	Actividad	Descripción	
1	Preparar al paciente	Se asegura identificación, contención y condiciones adecuadas.	
2	Medir signos vitales	Se registran peso, temperatura, frecuencia cardíaca y respiratoria.	
3	Realizar examen físico	Se evalúa al paciente de forma general y por sistemas.	

4	Registrar hallazgos	Se documentan alteraciones, dolor, lesiones y signos relevantes.
5	Definir pruebas necesarias	Se determinan exámenes complementarios según los hallazgos.
6	Integrar resultados	Se consolidan el examen y las pruebas para el diagnóstico.

En la Figura 10 se permite visualizar el diagrama del proceso de examen clínico, el cual representa una etapa fundamental dentro de la atención veterinaria, facilitando la evaluación física y la recopilación de información relevante del paciente.

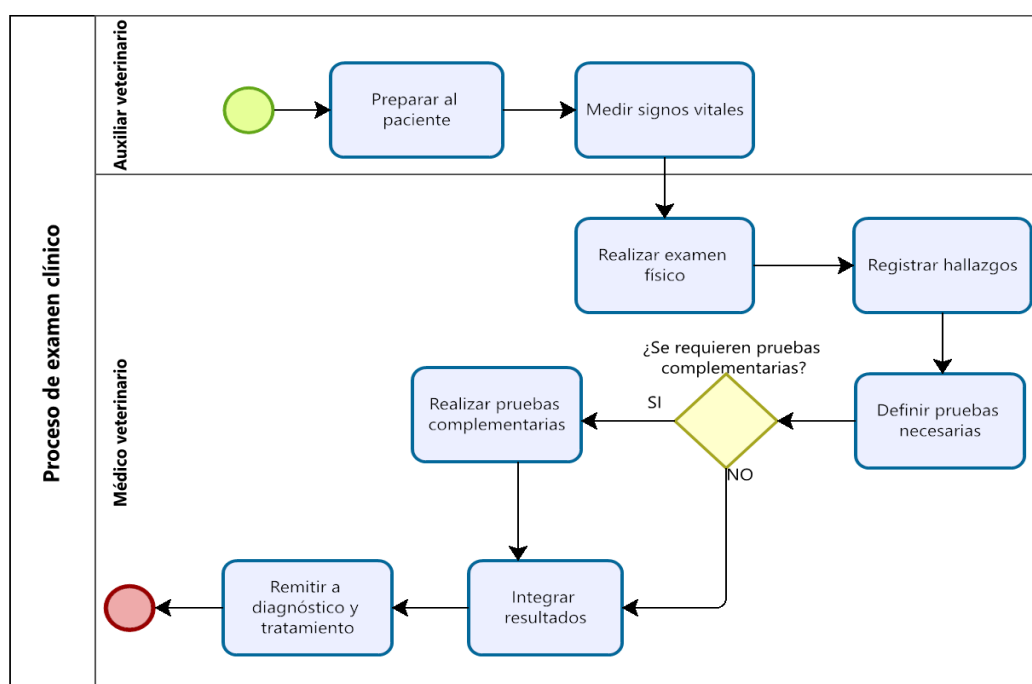


Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de examen clínico.

A través del diagrama representa las actividades secuenciales que son las necesarias para cumplir con la valoración médica, de forma que se inicia ofreciéndole al paciente la oportunidad de preparar para poder medir los signos vitales, continuará con la ejecución del examen físico y la anotación de los hallazgos, y continúa con un punto de decisión para precisar si son necesarias pruebas complementarias hasta llegar al momento de integrar todos los resultados que se han determinado para hacer el siguiente paso, pasar a la fase de diagnóstico y tratamiento.

Proceso de hospitalización

El proceso de hospitalización constituye una etapa de atención veterinaria destinada al cuidado, monitoreo y recuperación de pacientes que requieren supervisión continua debido a su condición clínica. En este espacio se realizan actividades como la preparación del área de

hospitalización, administración de tratamientos indicados, control de signos vitales, seguimiento de la evolución del paciente y registro de cambios relevantes durante su permanencia en la clínica.

Este proceso se lleva a cabo únicamente cuando el estado de salud del paciente requiere vigilancia permanente, terapias específicas o cuidados que no pueden ser realizados de manera ambulatoria. La hospitalización permite mantener un control más cercano de la evolución clínica, garantizar la aplicación adecuada de los tratamientos y facilitar la toma de decisiones médicas según la respuesta del paciente.

En la Figura 11, se muestra el área destinada al proceso de hospitalización veterinaria, donde se realizan actividades de monitoreo y cuidado continuo de los pacientes que requieren atención especializada. Este espacio contribuye a la recuperación del animal mediante un seguimiento organizado y controlado durante su permanencia en la clínica.



Figura 11. Área de hospitalización en SIRA PETS.

En la Tabla 18 se presenta el levantamiento del proceso de hospitalización, considerando las actividades de ingreso, monitoreo, tratamiento y comunicación sobre la evolución del paciente.

Tabla 18. Levantamiento de procesos: Hospitalización.

	Proceso	Hospitalización
	Código	PO-5
Objetivo	Proporcionar atención continua y segura al paciente hospitalizado mediante un plan de cuidados, monitoreo, medicación y registro sistemático de su evolución.	

Entradas		Orden de hospitalización; paciente; diagnóstico; plan terapéutico; autorización; medicamentos; indicaciones y resultados clínicos.
Recursos		Médico veterinario; auxiliares; área de hospitalización; jaulas o espacios clínicos; equipos de monitoreo; oxígeno; medicamentos; insumos y bioseguridad.
Salidas		Paciente monitorizado; tratamientos administrados; evolución registrada; novedades comunicadas; decisión de continuidad o egreso.
N°	Actividad	Descripción
1	Admitir al paciente	Se verifica identidad, autorización, diagnóstico y plan de hospitalización.
2	Asignar espacio clínico	Se ubica al paciente según su condición y requerimientos.
3	Programar cuidados	Se establecen medicación, alimentación, fluidoterapia y controles.
4	Monitorear evolución	Se controlan signos vitales, dolor, respuesta y cambios clínicos.
5	Atender novedades	Se ajusta el plan y se interviene ante complicaciones.
6	Registrar y comunicar	Se documenta la evolución y se informa al propietario y al veterinario responsable.

En la Figura 12 se representa de forma simplificada el flujo de trabajo asociado al proceso de hospitalización, mostrando las actividades esenciales para realizar el ingreso, monitoreo y seguimiento clínico de los pacientes que requieren cuidados continuos dentro de la clínica veterinaria. A través de este flujo se identifican las acciones necesarias para mantener un control adecuado del estado de salud del animal, desde su ingreso al área de hospitalización hasta la actualización de su evolución médica.

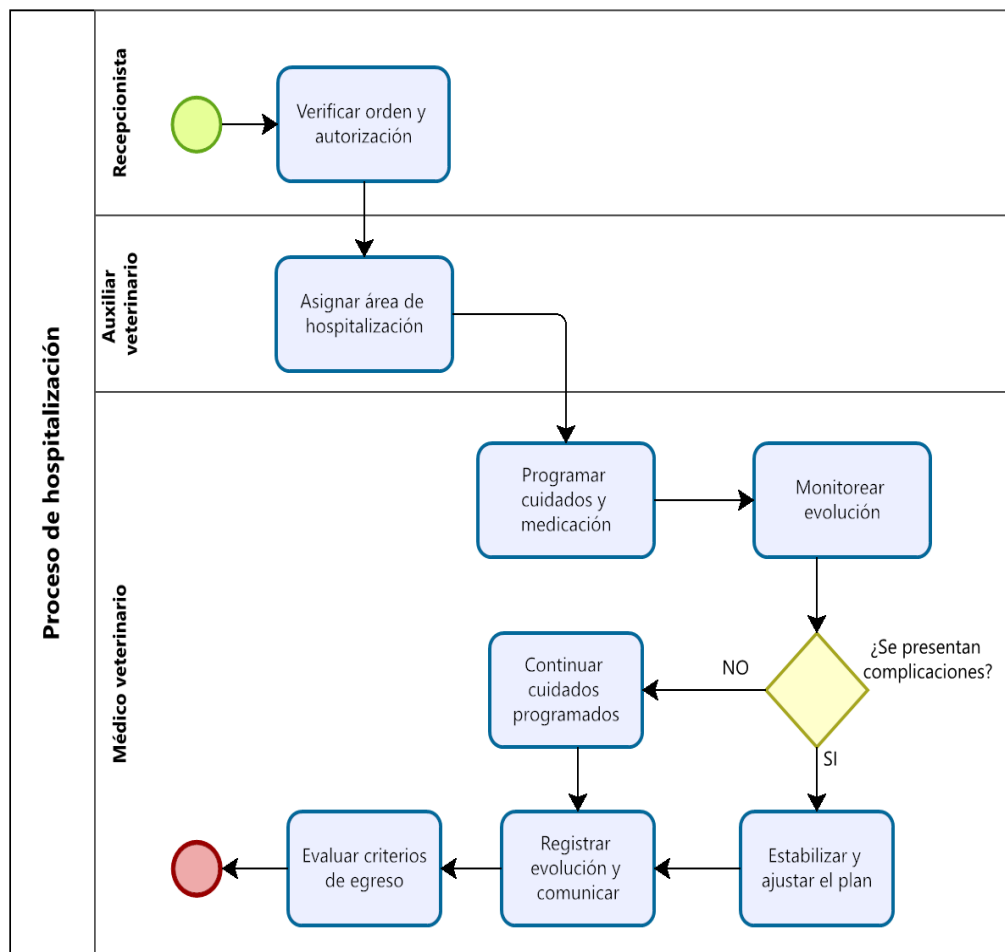


Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de hospitalización.

La hospitalización comienza con la verificación de la identidad del paciente, la autorización del propietario y el plan terapéutico indicado. Se asigna un espacio adecuado y se programan la medicación, la alimentación, la fluidoterapia y los controles correspondientes. El personal monitorea la evolución del paciente y registra cada actuación realizada. Ante una complicación, se estabiliza al paciente y se ajusta el plan según criterio veterinario; si la evolución es estable, se mantienen los cuidados programados. Finalmente, se evalúan los criterios de egreso y se comunica la información correspondiente al propietario.

- **Descripción de los procesos de apoyo de la clínica veterinaria**

Proceso de gestión financiera

El proceso de gestión financiera constituye un espacio administrativo dentro de la clínica veterinaria, destinado al control y organización de los recursos económicos generados por las actividades de atención. Mediante este proceso se realizan actividades como el registro de ingresos y egresos, control de pagos, seguimiento de facturación y administración de los recursos necesarios para garantizar la continuidad de los servicios veterinarios.

Durante este proceso, la información financiera es recopilada y organizada de manera adecuada para facilitar el control económico de la clínica, permitiendo identificar los movimientos financieros y mantener un seguimiento de los recursos utilizados en las diferentes operaciones. La gestión financiera resulta fundamental para asegurar una administración eficiente, apoyar la planificación de gastos y contribuir a la sostenibilidad de SIRA PETS.

En la Figura 13 se observa el área del proceso de gestión financiera, relacionado con el control de cobros, pagos y recursos económicos necesarios para la continuidad operativa de la clínica.



Figura 13. Área de gestión financiera en SIRA PETS.

En la Tabla 19 se presenta el levantamiento del proceso de gestión financiera, considerando el registro, verificación y conciliación de ingresos, egresos y documentos de respaldo.

Tabla 19. Levantamiento de procesos: Gestión financiera.

		Proceso	Gestión financiera
		Código	PA-1
Objetivo	Controlar de manera ordenada los ingresos, egresos, obligaciones y disponibilidad financiera de SIRA PETS mediante registros verificables.		
Entradas	Comprobantes de venta; facturas de compra; pagos; cuentas por cobrar y pagar; movimientos de caja y bancos.		
Recursos	Responsable administrativo; sistema contable o registros; caja; cuentas bancarias; archivos físicos o digitales.		
Salidas	Transacciones registradas; caja conciliada; pagos controlados; reportes financieros básicos.		
N.º	Actividad	Descripción	

1	Recopilar documentos	Se reúnen facturas, recibos, comprobantes y respaldos.
2	Clasificar la transacción	Se identifica si corresponde a ingreso, egreso, cuenta por cobrar o pagar.
3	Registrar el movimiento	Se ingresa la información en el sistema o control financiero.
4	Verificar respaldos	Se comprueba que montos, fechas y documentos coincidan.
5	Conciliar caja y bancos	Se comparan registros con efectivo y movimientos bancarios.
6	Emitir reporte	Se presenta el resumen para control y toma de decisiones.

En la Figura 14 se presenta el flujo del proceso de gestión financiera, desde el registro de la información económica hasta el control y seguimiento de los recursos financieros de la clínica veterinaria. Este diagrama permite visualizar de manera ordenada cómo se desarrollan las actividades relacionadas con la administración de ingresos, egresos, pagos y registros financieros, facilitando el control de los recursos necesarios para el funcionamiento de SIRA PETS.

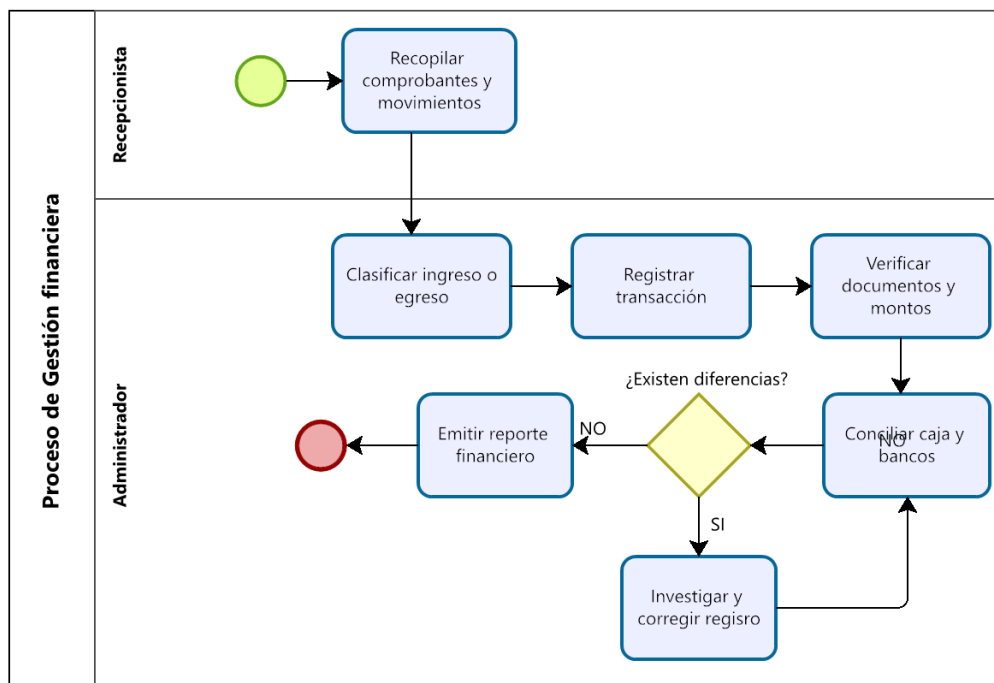


Figura 14. Diagrama de flujo del proceso de gestión financiera.

El flujo inicia con la recopilación de facturas, recibos, comprobantes de venta, pagos y movimientos de caja o bancos. Cada transacción se clasifica como ingreso, egreso, cuenta por cobrar o cuenta por pagar. Luego, la información se registra en el sistema contable o en el

control financiero utilizado por la clínica. Se verifican los documentos, las fechas y los montos para comprobar la correspondencia entre la transacción y su respaldo. Posteriormente, se realiza la conciliación de caja y bancos. Si se detectan diferencias, estas se investigan y corrigen, repitiendo la conciliación hasta que la información coincida. Si no existen diferencias, se emite el reporte financiero para apoyar el control y la toma de decisiones. El proceso finaliza con los registros y controles financieros actualizados.

Proceso de talento humano

El proceso de talento humano está destinado a la gestión del personal que forma parte de la clínica veterinaria, permitiendo administrar actividades relacionadas con la selección, incorporación, capacitación y seguimiento de los colaboradores. En esta etapa se identifican las necesidades de personal, se organizan los roles y responsabilidades, y se garantiza que los trabajadores cuenten con las competencias necesarias para desarrollar sus funciones dentro de SIRA PETS.

Durante el proceso se realiza el control de información del personal, actualización de registros, evaluación del desempeño y coordinación de actividades de formación cuando es necesario, con el fin de fortalecer las capacidades del equipo y mejorar la calidad del servicio. Esta actividad resulta fundamental dentro del funcionamiento de la clínica, ya que permite mantener una adecuada organización del recurso humano y asegurar la continuidad de los procesos de atención veterinaria.

En la Figura 15 se observa el proceso de talento humano, relacionado con la organización de funciones, responsabilidades y competencias del personal de la clínica.



Figura 15. Proceso de talento humano en SIRA PETS.

En la Tabla 20, se describen de manera ordenada las actividades que intervienen en el proceso de talento humano dentro de la clínica veterinaria. En ella se identifican las etapas necesarias para gestionar al personal, organizar sus funciones, mantener actualizada la información de los

colaboradores y ejecutar acciones orientadas al desarrollo y fortalecimiento del equipo de trabajo bajo condiciones controladas.

Tabla 20. Levantamiento de procesos: Talento humano.

		Proceso	Talento humano
		Código	PA-2
Objetivo	Gestionar la asignación, inducción, capacitación y seguimiento del personal para asegurar un desempeño coordinado y responsable.		
Entradas	Necesidades de personal; perfiles de cargo; horarios; hojas de vida; resultados de desempeño; necesidades de capacitación.		
Recursos	Responsable administrativo o dirección; expedientes del personal; cronogramas; políticas internas; materiales de capacitación.		
Salidas	Funciones asignadas; horarios organizados; personal incorporado y capacitado; registros de desempeño actualizados.		
N.º	Actividad	Descripción	
1	Identificar necesidades	Se determina la cantidad de personal, turnos y competencias requeridas.	
2	Definir funciones	Se establecen responsabilidades, autoridad y horarios.	
3	Seleccionar o asignar personal	Se incorpora o redistribuye personal según la necesidad.	
4	Realizar inducción	Se explican procedimientos, bioseguridad, servicio y normas internas.	
5	Supervisar desempeño	Se revisa cumplimiento, coordinación y calidad del trabajo.	
6	Capacitar y actualizar	Se ejecutan acciones de mejora cuando se detectan brechas.	

En la Figura 16 representa de manera visual y secuencial el proceso de talento humano que se lleva a cabo dentro de la clínica veterinaria.

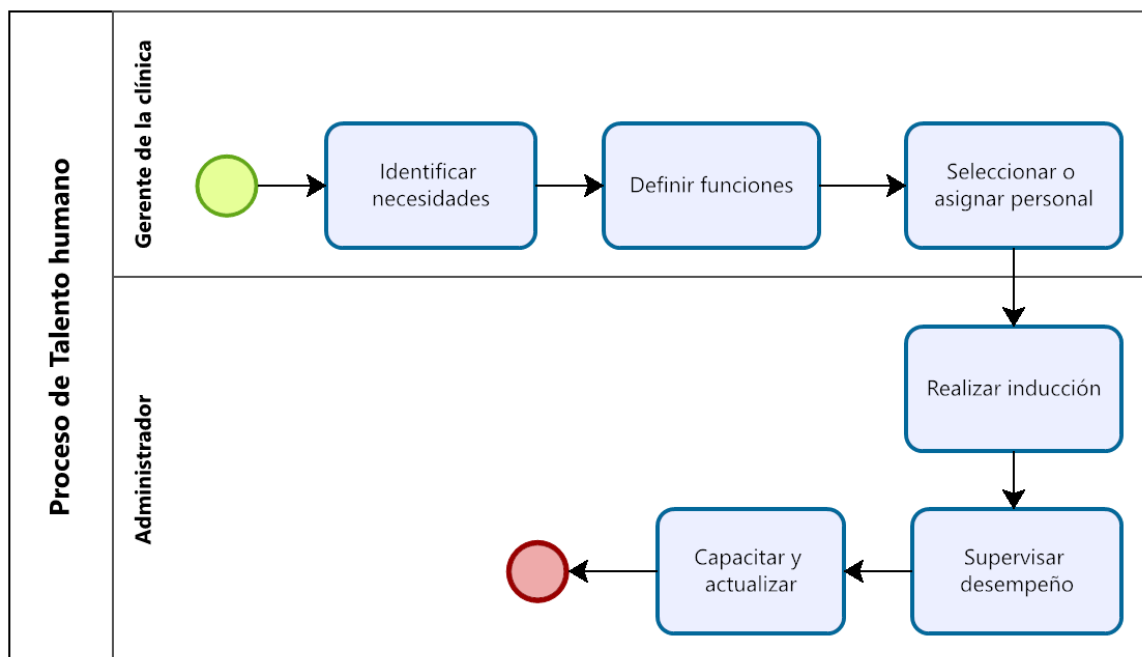


Figura 16. Diagrama de flujo del proceso de talento humano.

El proceso comienza con el momento en que se dispone de la información que indica las necesidades de personal y/o las competencias que precisa la clínica, a partir de las cuales se definen cada una de las funciones, responsabilidades, horarios y turnos de trabajo. A partir de estas necesidades se selecciona nuevo personal (externo) o se dispone del personal disponible. Posteriormente se da paso a la inducción, en la que se abarcan los procedimientos internos, normas de bioseguridad, servicio al cliente, responsabilidades del cargo, etc. Una vez que se inician los trabajos, el que se supervisa evalúa el cumplimiento, la coordinación y la calidad del trabajo desempeñando la función correspondiente. Por último, se introduce el aspecto de la capacitación y de las actualizaciones continuas del personal, el proceso concluyendo con las funciones, formaciones y evaluaciones documentadas.

Proceso de servicio de farmacia

El proceso de servicio de farmacia está orientado a la gestión, control y entrega de medicamentos e insumos veterinarios necesarios para la atención de los pacientes dentro de la clínica. En esta etapa se realizan actividades como la recepción de solicitudes de medicamentos, verificación de disponibilidad, control de inventario, preparación de productos y entrega conforme a las indicaciones establecidas por el médico veterinario.

Asimismo, el servicio de farmacia permite mantener un adecuado seguimiento de los productos utilizados durante la atención clínica, garantizando que los medicamentos se encuentren

correctamente almacenados, identificados y disponibles cuando sean requeridos. Su funcionamiento contribuye a evitar faltantes, mejorar el control de insumos y asegurar que los tratamientos indicados puedan ser administrados de manera oportuna.

En la Figura 17 se observa el área de servicio de farmacia, relacionado con la recepción, almacenamiento, dispensación y control de medicamentos e insumos clínicos.



Figura 17. Área de servicio de farmacia en SIRA PETS.

En la Tabla 21, se muestra el levantamiento de procesos del área de servicio de farmacia, detallando las actividades clave desde la recepción de la solicitud de medicamentos e insumos veterinarios, hasta la verificación, preparación y entrega de los productos requeridos para la atención del paciente. Este proceso permite identificar las etapas necesarias para garantizar el adecuado control, almacenamiento y disponibilidad de los medicamentos dentro de la clínica veterinaria SIRA PETS.

Tabla 21. Levantamiento de procesos: Servicio de farmacia.

		Proceso	Servicio de farmacia
		Código	PA-3
Objetivo	Asegurar la disponibilidad, conservación y entrega controlada de medicamentos e insumos clínicos conforme con la prescripción y las condiciones de almacenamiento.		
Entradas	Medicamentos e insumos recibidos; facturas; prescripciones; solicitudes internas; niveles de inventario.		
Recursos	Responsable de farmacia o personal autorizado; estanterías; refrigeración cuando aplique; sistema o kardex; termómetro; área de almacenamiento.		
Salidas	Medicamentos almacenados y dispensados correctamente; inventario actualizado; productos no conformes segregados; requerimientos de reposición.		

Nº	Actividad	Descripción
1	Recibir medicamentos e insumos	Se verifica la entrega del proveedor y la documentación.
2	Revisar lote, cantidad y caducidad	Se comprueba integridad, condiciones y fechas de vencimiento.
3	Registrar y almacenar	Se actualiza inventario y se ubican los productos según sus requisitos.
4	Recibir prescripción o solicitud	Se valida el medicamento, presentación y cantidad requerida.
5	Verificar disponibilidad	Se revisa existencia y condición del producto.
6	Dispensar y actualizar inventario	Se entrega el producto autorizado y se descuenta la salida.
7	Gestionar reposición o no conformidad	Se solicita compra o se devuelve/segrega el producto cuando corresponda.

En la Figura 18 se muestra la secuencia de trabajo del proceso de servicio de farmacia, incorporando las actividades necesarias para la recepción, verificación, preparación y entrega de medicamentos e insumos veterinarios. El flujo incluye un punto de decisión para validar la disponibilidad y conformidad de los productos requeridos, permitiendo gestionar adecuadamente cualquier inconveniente antes de continuar con la entrega al paciente o al área correspondiente. Este proceso facilita el control de los recursos farmacológicos y asegura la continuidad de la atención veterinaria dentro de SIRA PETS.

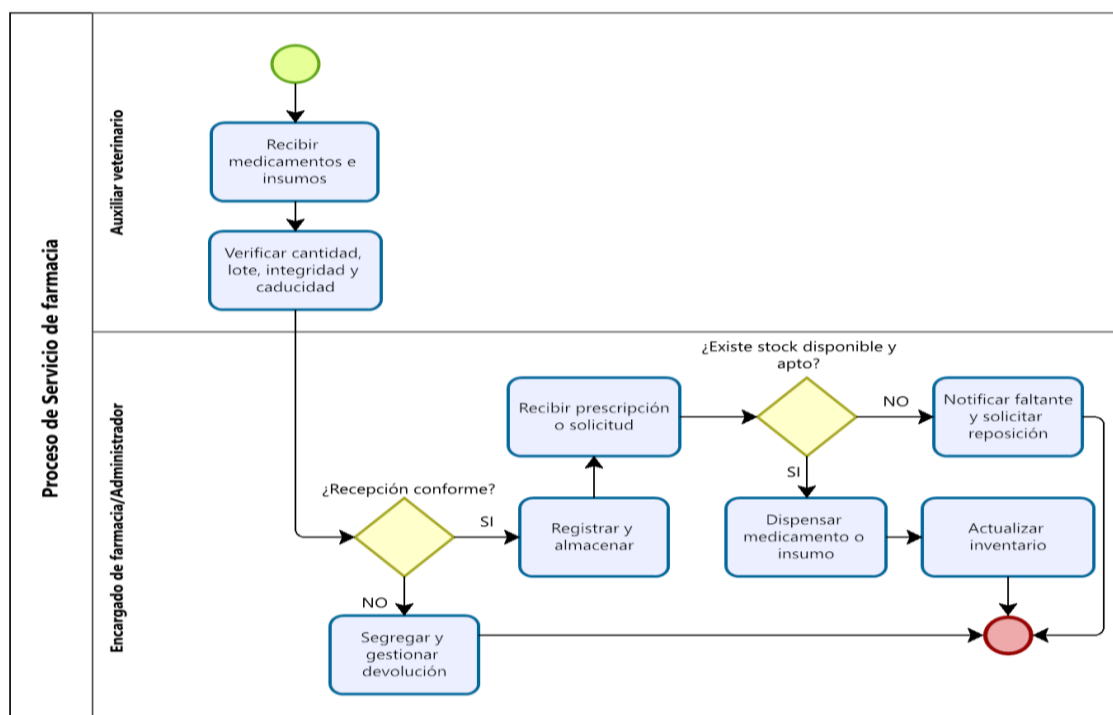


Figura 18. Diagrama de flujo del proceso de servicio de farmacia.

El proceso inicia con la recepción de medicamentos e insumos enviados por el proveedor. El responsable verifica la cantidad recibida, los lotes, la integridad de los productos, las condiciones de conservación y las fechas de caducidad. Luego se determina si la recepción se encuentra conforme. Si existen productos dañados, vencidos, incompletos o que no cumplen las condiciones requeridas, se separan y se gestiona su devolución o no conformidad. Si la recepción es correcta, los medicamentos se registran en el inventario y se almacenan según sus requisitos de temperatura y conservación. Posteriormente, se recibe una prescripción o solicitud interna y se verifica si existe stock disponible y si el producto se encuentra apto. Cuando existe disponibilidad, el medicamento o insumo se dispensa y se actualiza el inventario; cuando no existe disponibilidad, se informa el faltante y se solicita su reposición. El proceso finaliza con el movimiento controlado y documentado de los medicamentos e insumos.

- **Descripción de las actividades del proceso de atención veterinaria**

Con base en la observación del proceso de atención y la información proporcionada por la clínica veterinaria SIRA PETS, se describen las principales actividades que forman parte del servicio veterinario. Esta descripción permite comprender cómo se desarrolla la atención desde el primer contacto con el cliente hasta el cierre del servicio, así como identificar los momentos en los que se genera información clínica relevante para el seguimiento del paciente y para el desarrollo del modelo predictivo.

Contacto inicial o llegada del cliente y paciente

El proceso inicia cuando el propietario se comunica con la clínica o acude directamente con el paciente. En esta etapa se identifica la necesidad principal de atención, la cual puede estar relacionada con consulta general, signos de enfermedad, control, vacunación, emergencia u otro servicio veterinario. Este primer contacto permite orientar al cliente, conocer de manera preliminar el motivo de consulta y definir si el paciente requiere atención inmediata o puede ser agendado para una cita posterior.

En la Figura 19 se observa el ingreso principal de la clínica veterinaria SIRA PETS, como parte de la descripción de las actividades del proceso actual de atención.



Figura 19. Ingreso principal de la clínica veterinaria SIRA PETS.

Agendamiento o recepción en clínica

Cuando el caso no requiere atención inmediata, se realiza el agendamiento de la cita de acuerdo con la disponibilidad de la clínica y la necesidad del paciente. En los casos en que el propietario acude directamente al establecimiento, el personal de recepción registra la llegada y canaliza al paciente hacia la atención correspondiente. Esta actividad permite organizar el flujo de pacientes y mantener un orden en la prestación del servicio.

En la Figura 20 se observa la etapa de recepción y entrevista inicial, en la cual se verifica la información básica del propietario y del paciente antes de continuar con la atención veterinaria.



Figura 20. Recepción y entrevista inicial del paciente en SIRA PETS.

Recepción y entrevista inicial

En esta etapa, el personal recibe al propietario y al paciente, verifica datos básicos y recopila información inicial sobre el motivo de consulta. La entrevista permite conocer antecedentes relevantes, síntomas observados por el propietario, tiempo de evolución y cualquier información que pueda orientar la valoración médica. Esta fase es importante porque constituye el primer registro de datos clínicos del caso.

En la Figura 21 se muestra el área de recepción de pacientes, donde se realiza la primera atención al propietario y se recopila información inicial del caso.



Figura 21. Área de recepción de pacientes en SIRA PETS.

Registro de información del paciente

Después de la recepción, se registra o actualiza la información del paciente en la ficha clínica. En este punto se consideran datos como identificación del paciente, especie, raza, edad, sexo, peso, antecedentes, motivo de consulta y observaciones iniciales. El registro adecuado de esta información permite conservar la trazabilidad de cada caso, facilitar el seguimiento clínico y disponer de datos útiles para análisis posteriores [6].

Consulta veterinaria y anamnesis

Durante la consulta, el médico veterinario realiza la anamnesis a partir de la información

proporcionada por el propietario. Esta actividad permite profundizar en los signos observados, el comportamiento del paciente, el tiempo de evolución del problema, antecedentes sanitarios, alimentación, vacunación, desparasitación y otros factores que pueden influir en la condición clínica. La anamnesis constituye una base importante para orientar la revisión física y el diagnóstico presuntivo.

Revisión clínica física

En esta fase, el médico veterinario examina al paciente y evalúa signos clínicos observables. La revisión puede incluir la valoración de mucosas, temperatura, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, estado de hidratación, condición corporal, presencia de dolor, lesiones, secreciones, tos, vómito, diarrea u otros signos asociados al motivo de consulta. La información obtenida en esta etapa es una de las principales fuentes de datos para diferenciar enfermedades con síntomas similares.

En la Figura 22 se muestra la revisión clínica física del paciente, etapa en la que el médico veterinario evalúa signos observables y condiciones generales de salud para orientar el diagnóstico.



Figura 22. Revisión clínica física del paciente.

Diagnóstico presuntivo

Con base en la entrevista, la revisión física y los antecedentes del paciente, el médico veterinario establece un diagnóstico presuntivo. Este diagnóstico representa una orientación inicial sobre la posible enfermedad o condición clínica del paciente. En algunos casos, el criterio clínico puede ser suficiente para definir el tratamiento; en otros, se requiere complementar la evaluación con exámenes adicionales.

Solicitud de exámenes complementarios, si aplica

Cuando el caso lo requiere, se solicitan exámenes complementarios para confirmar o ajustar el diagnóstico. Estos pueden incluir pruebas de laboratorio, análisis clínicos, estudios de imagen u otras evaluaciones disponibles según la necesidad del paciente. Los resultados obtenidos permiten reducir la incertidumbre diagnóstica y tomar decisiones más precisas sobre el tratamiento.

Definición del tratamiento

Una vez establecido el diagnóstico presuntivo o confirmado, el médico veterinario define el tratamiento correspondiente. Este puede incluir medicamentos, fluidoterapia, hospitalización, procedimientos clínicos, recomendaciones de cuidado en casa o seguimiento posterior. La definición del tratamiento depende de la condición del paciente, la gravedad del caso y la evolución esperada.

Ejecución del servicio clínico

En esta actividad se realiza el procedimiento o tratamiento indicado por el médico veterinario. Puede incluir la administración de medicamentos, curaciones, aplicación de vacunas, desparasitación, toma de muestras, atención de emergencia, hospitalización u otros servicios clínicos. La ejecución del servicio debe quedar registrada para mantener un historial completo del paciente.

En la Figura 23 se muestra el área de tratamiento o procedimiento clínico, donde se realizan actividades como administración de medicamentos, curaciones, vacunación, desparasitación, toma de muestras y otros servicios definidos por el médico veterinario.



Figura 23. Área de tratamiento o procedimiento clínico en SIRA PETS.

Indicaciones, registro final, pago y egreso

Finalmente, el médico veterinario o el personal responsable entrega las indicaciones al propietario, incluyendo dosis de medicamentos, cuidados en casa, signos de alarma y recomendaciones de control. Posteriormente, se completa el registro final de la atención, se realiza el pago del servicio y el paciente egresa de la clínica. Esta etapa cierra el proceso de atención y deja información disponible para futuras consultas o seguimientos.

En conjunto, la descripción de estas actividades evidencia que el proceso de atención veterinaria genera información clínica en diferentes momentos, desde la recepción hasta el cierre del servicio. Por ello, la calidad del registro y la organización de los datos son elementos importantes para fortalecer el seguimiento de los pacientes y aprovechar la información histórica en el diseño del modelo predictivo propuesto [21].

En la Figura 24 se presenta el diagrama de flujo del proceso actual de atención veterinaria, desde el contacto inicial del propietario hasta el registro final, pago y egreso del paciente.

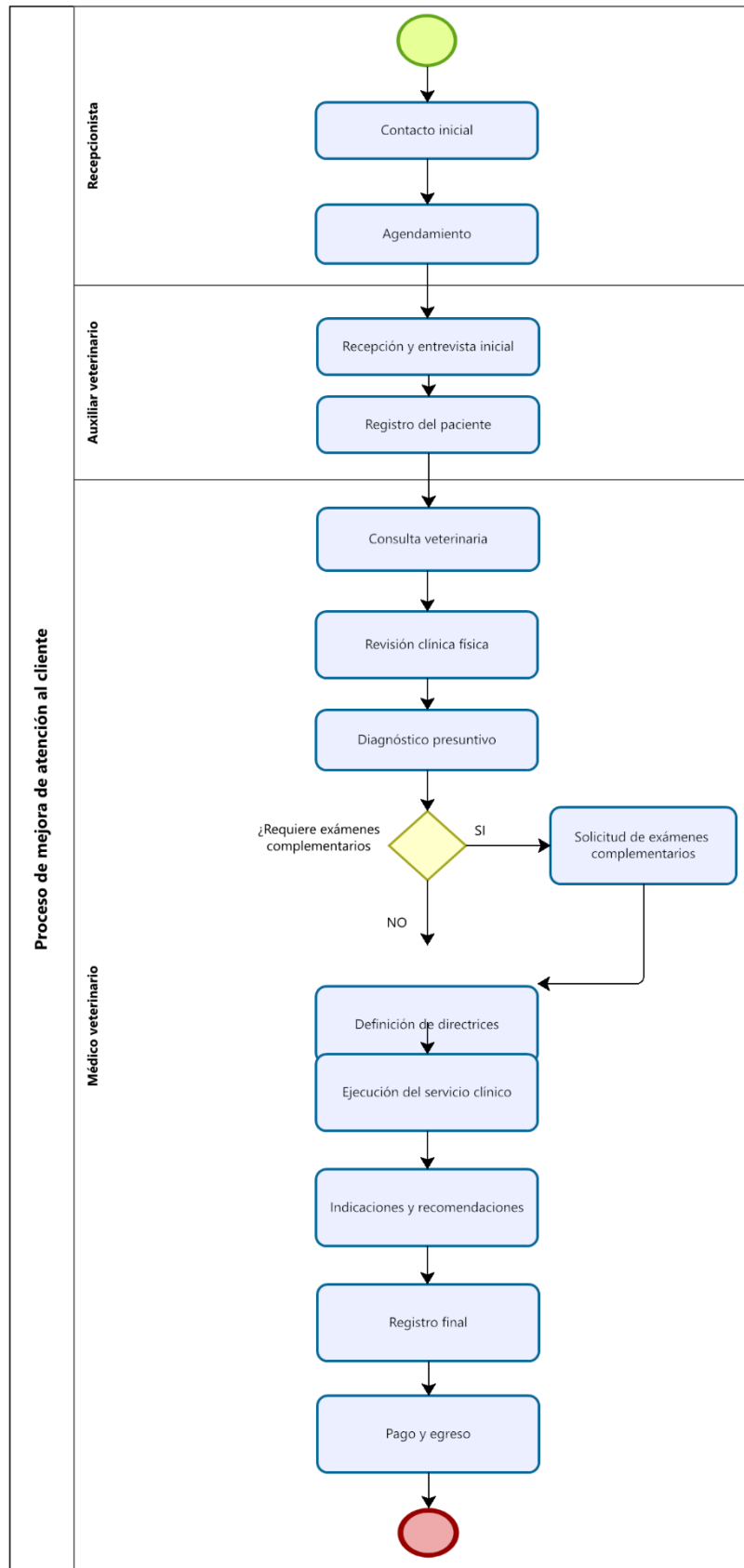


Figura 24. Diagrama de flujo del proceso actual de atención veterinaria.

El diagrama de flujo permite observar cómo se desarrolla actualmente la atención veterinaria en SIRA PETS. El proceso inicia con el contacto o llegada del cliente junto con el paciente, continúa con la recepción, la entrevista inicial y el registro de los datos clínicos necesarios para la consulta. Luego, el médico veterinario realiza la anamnesis, la revisión física y establece un diagnóstico presuntivo. Cuando el caso lo requiere, se solicitan exámenes complementarios para confirmar o ajustar el criterio diagnóstico antes de definir el tratamiento. Finalmente, se brindan las indicaciones correspondientes, se registra la información final del caso y se realiza el cierre del servicio. Este flujo evidencia la importancia de mantener registros completos y ordenados, ya que la información generada durante la atención constituye la base para el análisis de datos y para el desarrollo del modelo predictivo planteado en la investigación [21].

Para sintetizar el proceso actual, se elaboró una matriz SIPOC, herramienta que permite identificar proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes vinculados con un flujo de trabajo [34].

En la Tabla 22 se resume el funcionamiento general del servicio de atención veterinaria y se facilita la identificación de puntos donde pueden presentarse errores de registro, pérdida de información u oportunidades de mejora.

Tabla 22. Matriz SIPOC del proceso actual de atención veterinaria.

Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Propietario del paciente; paciente canino; médico veterinario; personal de recepción.	Datos del paciente; motivo de consulta; síntomas reportados; historia clínica; signos observados.	Recepción, registro, anamnesis, revisión clínica, diagnóstico, tratamiento y registro final.	Diagnóstico clínico; tratamiento indicado; ficha actualizada; recomendaciones al propietario.	Paciente; propietario; veterinaria SIRA PETS; base clínica institucional.

5.1.7. Problemas identificados y necesidades de mejora

A partir de la revisión documental, la depuración de la base de datos y la descripción del flujo de atención, se identificaron oportunidades de mejora relacionadas con el registro clínico, la organización de la información y el aprovechamiento de los datos históricos. Estos aspectos no representan una deficiencia directa del servicio veterinario, sino puntos que pueden fortalecerse mediante una herramienta de apoyo que complemente el criterio del médico veterinario y

facilite la orientación diagnóstica a partir de patrones presentes en casos anteriores [3].

A partir de la matriz SIPOC y del diagrama de flujo del proceso actual, se identificaron aspectos que pueden fortalecerse dentro de la gestión de la información clínica. Estos puntos se relacionan principalmente con la forma en que se registran, organizan y utilizan los datos generados durante la atención veterinaria.

En la Tabla 23 se resumen las oportunidades de mejora encontradas y su relación con el desarrollo del modelo inteligente propuesto.

Tabla 23. Problemas identificados y necesidades de mejora.

Problema identificado	Evidencia en el proceso	Consecuencia	Necesidad de mejora
Registro incompleto de síntomas	Campos clínicos sin detalle o escritos solo en texto libre.	Reduce la calidad de la codificación.	Usar ficha con campos obligatorios.
Diagnósticos no estandarizados	Variaciones y abreviaturas para una misma enfermedad.	Duplica clases y afecta el etiquetado.	Crear catálogo único de diagnósticos.
Datos dispersos	Información en historias, registros y matrices separadas.	Aumenta inconsistencias y tiempo de búsqueda.	Centralizar la matriz clínica.
Consulta limitada de casos anteriores	No hay comparación automatizada con casos similares.	Se pierde conocimiento clínico histórico.	Implementar búsquedas por síntomas y enfermedad.
Falta de indicadores clínicos	No se visualizan frecuencias y tendencias de forma permanente.	Limita la gestión clínica.	Generar reportes periódicos.
Dependencia del criterio manual	El diagnóstico depende de experiencia y revisión manual.	Aumenta la variabilidad en casos similares.	Usar el modelo como apoyo profesional.
Riesgo de fuga de información	Tratamientos registrados después del diagnóstico.	El modelo podría aprender decisiones posteriores.	Usarlos como validación, no como predictores iniciales.

5.2. DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2

5.2.1. Implementación del modelo predictivo

Este apartado responde al segundo objetivo específico de la investigación, orientado a implementar algoritmos de aprendizaje automático para la predicción de enfermedades veterinarias y comparar su desempeño mediante métricas de clasificación. Para ello, se utilizó

la base clínica depurada en el objetivo anterior, considerando como variable objetivo la enfermedad diagnosticada y como variables predictoras los datos demográficos, signos clínicos y síntomas disponibles antes del diagnóstico.

5.2.2. Preparación de los datos para el modelado

Para el desarrollo del modelo predictivo se utilizó la matriz clínica depurada correspondiente a pacientes caninos atendidos en la clínica veterinaria SIRA PETS. La variable objetivo fue Enfermedad_Etiquetada, la cual representa la enfermedad diagnosticada en cada registro clínico. Esta variable estuvo conformada por siete clases: dermatitis, distemper, gastroenteritis, otitis, parasitosis, parvovirus y traqueobronquitis.

Las variables predictoras estuvieron conformadas por datos demográficos y clínicos del paciente, tales como sexo, edad, raza, peso, condición reproductiva, síntomas y signos clínicos registrados antes del diagnóstico. Las variables asociadas a tratamientos y hospitalización no fueron utilizadas en el entrenamiento, debido a que corresponden a información posterior a la valoración realizada por el médico veterinario y podrían generar fuga de información [22].

Durante la preparación de los datos se revisó la estructura de la matriz clínica con el fin de conservar únicamente las variables necesarias para el entrenamiento del modelo predictivo. En este proceso se eliminaron columnas de carácter administrativo o posterior al diagnóstico, como identificadores del caso, fecha de consulta, motivo de consulta, tratamientos aplicados y hospitalización. Estas variables no fueron utilizadas como predictoras porque no forman parte de la información clínica inicial disponible antes de orientar la enfermedad probable y podrían generar fuga de información dentro del modelo.

En la Tabla 24 se resume el tratamiento aplicado a cada tipo de variable antes del entrenamiento de los modelos de clasificación.

Tabla 24. Tratamiento aplicado a las variables durante el preprocesamiento.

Tipo de variable	Tratamiento aplicado
Variables numéricas	Imputación de valores faltantes mediante la mediana.
Variables categóricas	Todas las variables categóricas se encontraban completas
Variables binarias	Codificación en valores 0 y 1 según ausencia o presencia del signo clínico.
Variables no predictivas	Eliminación de identificadores, fecha, motivo de consulta, tratamientos y hospitalización.

Variable objetivo	Conservación de la columna Enfermedad_Etiquetada para el entrenamiento supervisado.
-------------------	---

Muestra que el preprocesamiento permitió organizar la base de datos según el tipo de variable utilizada. Este procedimiento fue necesario para que los algoritmos trabajen con datos estructurados y comparables, evitando que columnas administrativas o posteriores al diagnóstico influyan de forma incorrecta en la predicción.

Para que los algoritmos pudieran procesar la información, las variables categóricas fueron transformadas a formato numérico y las variables clínicas binarias se mantuvieron codificadas como presencia o ausencia del signo o síntoma clínico. Además, se eliminaron columnas no predictivas, como identificadores, fechas, especie, motivo de consulta en texto libre y variables posteriores al diagnóstico.

En la Tabla 25 se resume la variable objetivo y las variables predictoras utilizadas para el entrenamiento del modelo, considerando 25 variables de entrada, de las cuales 21 corresponden a variables numéricas o binarias y 4 a variables categóricas.

Tabla 25. Variable objetivo y variables predictoras utilizadas en el modelo.

Elemento	Descripción
Variable objetivo	Enfermedad_Etiquetada
Enfermedades	Dermatitis, Distemper, Gastroenteritis, Otitis, Parasitosis, Parvovirus, Traqueobronquitis
Variables predictoras	25
Variables numéricas o binarias	21
Variables categóricas	4

5.2.3. Aplicación de algoritmos de clasificación supervisada

En esta fase se aplicaron cuatro algoritmos de clasificación supervisada: Árbol de Decisión/J48, Random Forest, Naive Bayes y Support Vector Machine con kernel RBF. Estos modelos fueron seleccionados porque permiten abordar problemas de clasificación multiclase y representan enfoques distintos de aprendizaje automático: reglas interpretables, ensamble de árboles, clasificación probabilística y separación de clases.

La comparación se limitó a cuatro algoritmos porque el objetivo de la investigación no fue evaluar todos los modelos existentes, sino contrastar métodos representativos y adecuados al

alcance del estudio. Esta selección permitió comparar enfoques distintos de clasificación supervisada sin hacer innecesariamente extenso el análisis.

El Árbol de Decisión/J48 se incluyó por su facilidad de interpretación; Random Forest, por su capacidad para combinar múltiples árboles y mejorar la estabilidad del modelo; Naive Bayes, por su simplicidad y rapidez computacional; y SVM RBF, por su capacidad para trabajar con relaciones no lineales entre las variables clínicas.

De esta manera, la comparación cubre modelos interpretables, probabilísticos, basados en ensamble y basados en separación de clases, permitiendo una evaluación equilibrada del desempeño predictivo.

Se definieron parámetros básicos para cada algoritmo, manteniendo una configuración reproducible y adecuada para un problema de clasificación multiclase. Esta decisión permitió comparar los modelos bajo una misma estructura de datos y evitar cambios excesivos que pudieran favorecer artificialmente a un algoritmo específico.

En la Tabla 26 se presentan los principales parámetros utilizados en cada algoritmo durante el entrenamiento.

Tabla 26. Parámetros principales utilizados en los algoritmos de clasificación.

Modelo	Finalidad dentro del estudio
Árbol de Decisión/J48	criterion = entropy, class_weight = balanced
Random Forest	n_estimators = 300, criterion = entropy, class_weight = balanced_subsample
Naive Bayes	GaussianNB
SVM RBF	kernel = rbf, C = 1.0, gamma = scale, probability = True

Permite identificar la configuración aplicada a cada modelo durante el entrenamiento. Estos parámetros fueron utilizados para comparar los algoritmos bajo un mismo procedimiento de validación y asegurar que los resultados obtenidos puedan ser replicados posteriormente.

En la Tabla 27 se presentan los algoritmos de clasificación supervisada aplicados en la investigación, considerando modelos interpretables, probabilísticos, basados en ensamble y basados en separación de clases.

Tabla 27. Algoritmos de clasificación supervisada aplicados.

Modelo	Finalidad dentro del estudio
Árbol de Decisión/J48	Modelo interpretable basado en reglas
Random Forest	Modelo robusto basado en varios árboles
Naive Bayes	Modelo probabilístico simple
SVM RBF	Modelo para relaciones no lineales

5.2.4. Evaluación y comparación de modelos

Los modelos fueron evaluados mediante métricas de clasificación multiclase. Se consideraron la exactitud, precisión ponderada, sensibilidad ponderada, especificidad ponderada, F1-score ponderado, AUC-ROC macro, AUC-ROC ponderado, exactitud de entrenamiento y diferencia entre entrenamiento y validación. Estas métricas permitieron analizar no solo el porcentaje general de aciertos, sino también el equilibrio entre precisión, sensibilidad y capacidad de diferenciación entre clases [20].

Los resultados obtenidos evidencian que Random Forest presentó el mejor rendimiento general, alcanzando una exactitud de 0,9368 y un F1-score ponderado de 0,9328. Además, obtuvo un AUC-ROC macro de 0,9904 y un AUC-ROC ponderado de 0,9916, lo que indica una alta capacidad para diferenciar entre las enfermedades consideradas.

En la Tabla 28 se presenta la comparación del desempeño de los modelos de clasificación aplicados, utilizando métricas como exactitud, precisión ponderada, sensibilidad ponderada, especificidad ponderada, F1-score ponderado y AUC-ROC.

Tabla 28. Comparación del desempeño de los modelos de clasificación.

Modelo	Accuracy	Precision	Recall	Specificity	F1-score	ROC AUC macro	ROC AUC weighted
Random Forest	0.9368	0.9466	0.9368	0.9906	0.9328	0.9904	0.9916
SVM RBF	0.9267	0.9436	0.9267	0.9888	0.9221	0.9881	0.9895
Naive Bayes	0.9166	0.9183	0.9166	0.9878	0.9151	0.9650	0.9683
Decision Tree / J48	0.9167	0.9228	0.9167	0.9878	0.9141	0.9456	0.9523

En la Figura 25 se presentan las matrices de confusión de los modelos evaluados, utilizadas para observar la distribución de aciertos y errores en la clasificación de las enfermedades consideradas.

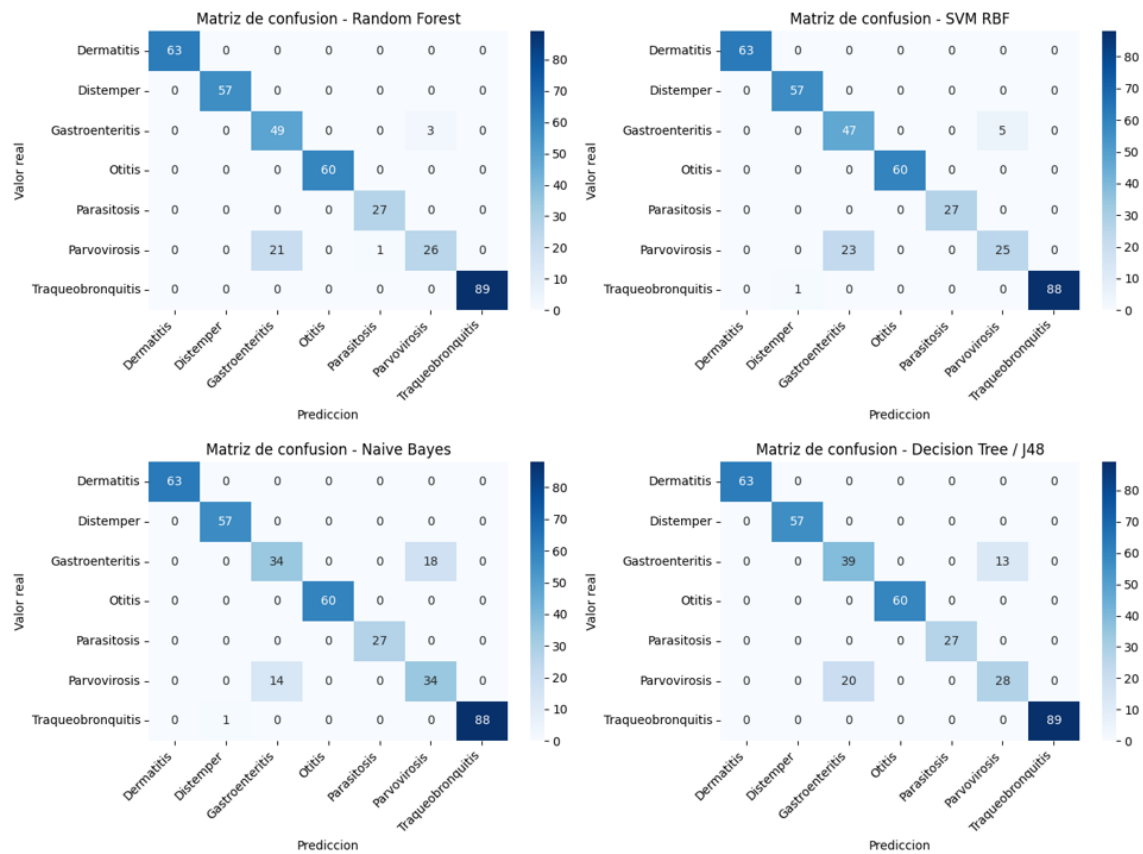


Figura 25. Matrices de confusión de los modelos evaluados.

Se observa que la mayoría de predicciones se concentra en la diagonal principal, lo que indica un desempeño adecuado en la clasificación de las enfermedades consideradas. Random Forest presentó un comportamiento favorable frente a los demás algoritmos, al mantener un alto número de aciertos en la mayoría de clases. No obstante, se identificó cierta confusión entre gastroenteritis y parvovirus, lo cual puede relacionarse con la presencia de signos digestivos comunes en algunos registros, como vómito, diarrea, decaimiento y pérdida de apetito. Por ello, los resultados del modelo deben interpretarse como una herramienta de apoyo a la orientación diagnóstica, complementaria al criterio del médico veterinario [3].

En la Figura 26 se presentan las curvas ROC multiclase micro-promedio de los modelos evaluados, empleadas para analizar la capacidad de discriminación de cada algoritmo frente a las enfermedades consideradas.

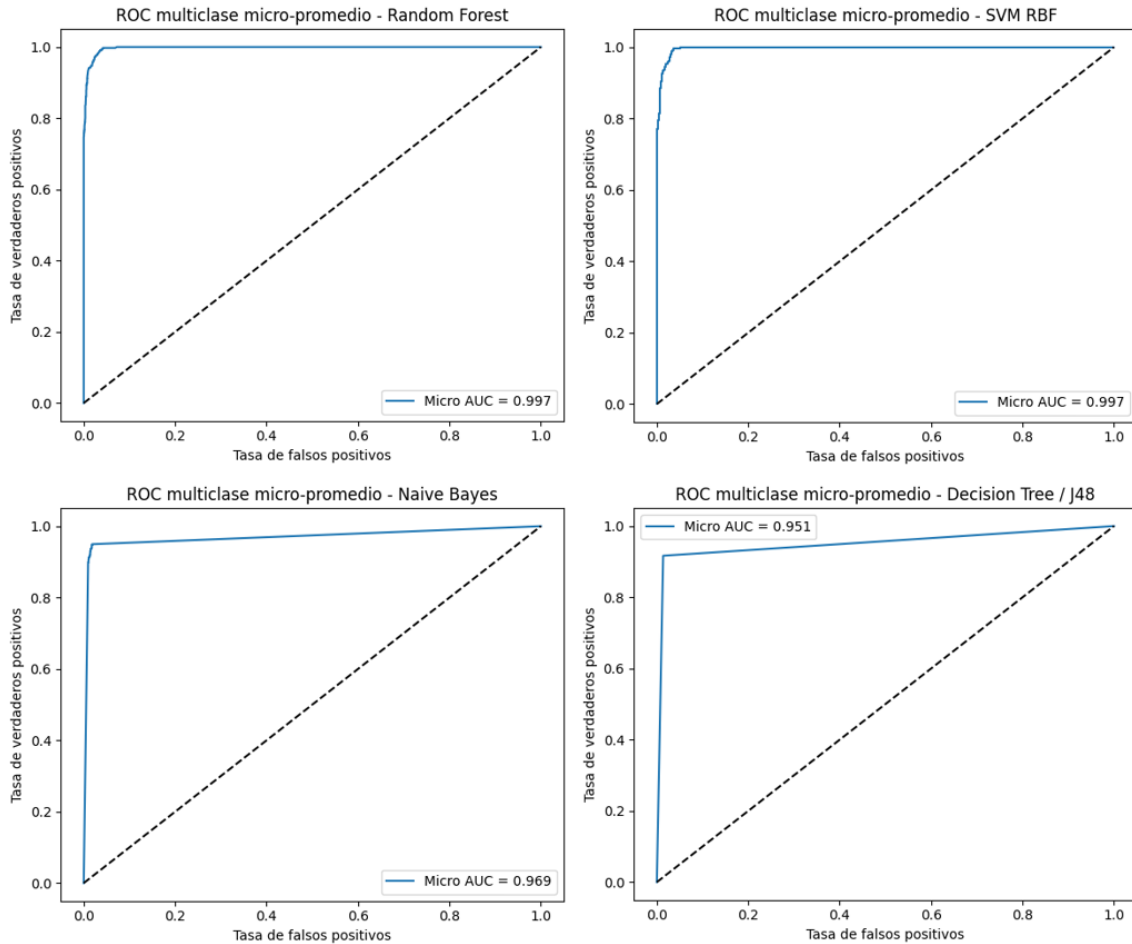


Figura 26. Curvas ROC multiclase micro-promedio de los modelos evaluados.

Se presentan las curvas ROC multiclase micro-promedio de los modelos evaluados. Estas curvas permiten analizar la capacidad de cada algoritmo para diferenciar correctamente entre las enfermedades consideradas. Se observa que Random Forest y SVM RBF obtuvieron los valores más altos de AUC micro-promedio, ambos con 0,997, lo que indica una alta capacidad de discriminación entre clases. Naive Bayes alcanzó un AUC de 0,969, mientras que Árbol de Decisión/J48 obtuvo 0,951. Aunque Random Forest y SVM RBF presentaron un desempeño muy similar en esta métrica, Random Forest fue seleccionado como modelo final debido a su mejor equilibrio general en las métricas de clasificación y a su comportamiento favorable en la matriz de confusión.

5.2.5. Selección del mejor modelo

La selección del mejor modelo no se realizó únicamente por la exactitud, sino considerando el desempeño general de cada algoritmo. En este estudio se compararon los resultados obtenidos por Árbol de Decisión/J48, Random Forest, Naive Bayes y SVM RBF, tomando en cuenta métricas como exactitud, precisión, sensibilidad, especificidad, F1-score y AUC-ROC [20].

Random Forest presentó el mejor equilibrio entre estas métricas, alcanzando una exactitud de 0,9368 y un F1-score ponderado de 0,9328. Este resultado indica que el modelo tuvo una buena capacidad para clasificar correctamente las enfermedades consideradas, manteniendo un rendimiento estable frente a un problema multiclase, donde algunas patologías pueden compartir signos y síntomas similares.

Aunque existió una diferencia entre la exactitud de entrenamiento y validación, el desempeño general de Random Forest fue superior al de los demás modelos evaluados. Por esta razón, fue seleccionado como modelo final para realizar predicciones en nuevos pacientes y servir como herramienta de apoyo a la orientación diagnóstica en la clínica veterinaria SIRA PETS.

Debido a que Random Forest fue seleccionado como el modelo con mejor desempeño, se analizó la importancia de las variables utilizadas durante el entrenamiento. Este análisis permite identificar qué signos o características clínicas aportaron mayor información al momento de diferenciar las enfermedades consideradas. La importancia de variables no debe interpretarse como diagnóstico clínico directo, sino como una referencia sobre el peso relativo de cada variable dentro del modelo [17].

Para complementar la selección del modelo, se analizó la importancia de las variables predictoras dentro del algoritmo Random Forest. Este análisis permite identificar cuáles fueron los signos clínicos, síntomas o datos del paciente que tuvieron mayor peso en la clasificación de las enfermedades caninas consideradas en el estudio.

La Tabla 29 presenta las variables con mayor importancia obtenidas a partir del entrenamiento del modelo con la matriz clínica depurada.

Tabla 29. Variables predictoras con mayor importancia en el modelo Random Forest.

Variable	Importancia
Peso_Kg	0.108387
Lesiones_Cutaneas	0.107319
Edad_Años	0.098005
Tos	0.097024
Picazon	0.082554
Perdida_Peso	0.072310
Raza	0.064781
Diarrea	0.062669
Fiebre	0.048579
Secrecion_Ocular	0.045894
Vomito	0.044436
Perdida-Apetito	0.036188
Secrecion_Nasal	0.036076
Decaimiento	0.032503
Sexo	0.015072

Además de la tabla resumen, se generó una representación gráfica de la importancia de variables, con el fin de visualizar de manera más clara cuáles atributos aportaron más información al modelo predictivo.

En la Figura 27 se observa la distribución de importancia de las principales variables utilizadas por Random Forest.

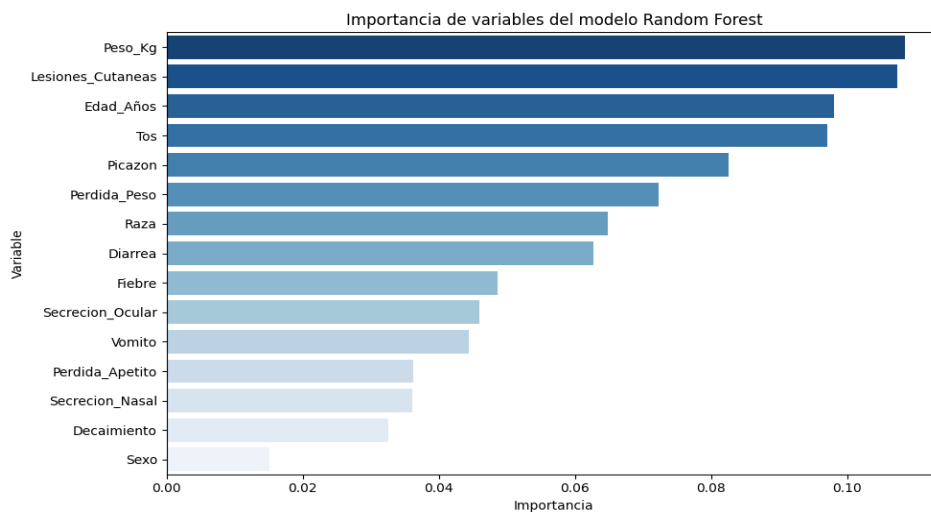


Figura 27. Importancia de variables predictoras en el modelo Random Forest.

La Figura muestra que el modelo Random Forest no utiliza todas las variables con el mismo nivel de influencia. Las variables con mayor importancia representan los signos clínicos o características que ayudaron con más fuerza a diferenciar entre las enfermedades caninas evaluadas. Esto no significa que una sola variable determine el diagnóstico, sino que el modelo combina varios datos del paciente para generar una predicción probable. Por esta razón, el resultado debe interpretarse como una herramienta de apoyo para la orientación diagnóstica y no como reemplazo del criterio del médico veterinario.

5.2.6. Prueba del modelo con nuevos casos

Después de seleccionar el mejor modelo, se realizó una prueba funcional con una matriz de 72 casos de verificación. Esta matriz no contenía la variable Enfermedad_Etiquetada como dato de entrada, ya que su propósito fue comprobar si el modelo podía generar una orientación diagnóstica a partir de nuevos registros clínicos. La matriz estuvo conformada por dos casos reales anonimizados proporcionados por la clínica veterinaria SIRA PETS y 70 casos sintéticos elaborados mediante extrapolación clínica, tomando como base los patrones observados en los 396 registros depurados y la sintomatología general revisada con el personal veterinario. Por ello, esta prueba permitió comprobar el funcionamiento inicial del sistema, pero no reemplaza una validación clínica externa definitiva.

Para mantener la coherencia metodológica, la matriz de verificación conservó únicamente las mismas 25 variables predictoras utilizadas durante el entrenamiento del modelo: variables categóricas, numéricas y binarias asociadas a características del paciente y signos clínicos. De esta manera, se evitó incluir información posterior al diagnóstico, como tratamientos u hospitalización, ya que estos datos podrían generar fuga de información y alterar la interpretación del modelo.

Es importante señalar que esta prueba no constituye una validación clínica externa definitiva, sino una validación funcional inicial del prototipo, orientada a comprobar el comportamiento del modelo frente a registros nuevos o simulados antes de su posible uso en un entorno real.

En la Tabla 30 se presenta el origen de los casos empleados para verificar el comportamiento del modelo predictivo.

Tabla 30. Composición de la matriz utilizada para la prueba funcional.

Tipo de caso	Cantidad	Descripción
Casos reales anonimizados	2	Registros proporcionados por la clínica veterinaria SIRA PETS.
Casos sintéticos	70	Casos elaborados mediante reglas y restricciones derivadas de la base histórica depurada de SIRA PETS para comprobar el funcionamiento del modelo.
Total de casos evaluados	72	Registros utilizados para verificar la generación de predicciones.

La tabla permite diferenciar el origen de los registros utilizados en la prueba funcional. Se observa que la mayor parte de la matriz estuvo conformada por casos sintéticos, utilizados únicamente para comprobar el funcionamiento del modelo ante distintas combinaciones clínicas. Por esta razón, estos datos no deben interpretarse como casos clínicos reales ni como una validación externa definitiva, sino como una prueba inicial de funcionamiento del sistema.

En la Tabla 31 se presenta la distribución de enfermedades predichas por el modelo Random Forest en los 72 casos adicionales utilizados para la prueba funcional.

Tabla 31. Distribución de enfermedades predichas en la prueba funcional.

Enfermedad predicha	Frecuencia
Dermatitis	18
Traqueobronquitis	17
Parvovirus	12
Distemper	10
Gastroenteritis	9
Otitis	5
Parasitosis	1
Total	72

Se evidencia que el modelo generó predicciones para las siete enfermedades consideradas en la investigación. Las enfermedades con mayor número de predicciones fueron dermatitis y traqueobronquitis, mientras que parasitosis presentó la menor frecuencia. Esta distribución permite observar cómo el modelo clasificó los nuevos registros ingresados durante la prueba funcional.

Además de la enfermedad probable, el modelo asignó un nivel de confianza a cada predicción.

En la Tabla 32 se presenta la distribución del nivel de confianza de las predicciones generadas por el modelo Random Forest durante la prueba funcional con nuevos casos.

Tabla 32. Clasificación de las predicciones según nivel de confianza.

Nivel de confianza	Frecuencia
Alta	49
Media	16
Baja	7
Total	72

Muestra que la mayoría de las predicciones presentó un nivel de confianza alto, lo que indica que el modelo logró asignar una enfermedad probable con mayor seguridad en gran parte de los casos evaluados. Sin embargo, las predicciones con confianza media o baja requieren una revisión más cuidadosa por parte del médico veterinario, debido a que pueden corresponder a enfermedades con signos clínicos similares.

5.2.7. Comparación de predicciones con el criterio veterinario

Para complementar la prueba funcional, las predicciones generadas por el modelo fueron comparadas con el criterio veterinario disponible. Esta comparación permitió observar el nivel de coincidencia entre la orientación generada por el modelo y la valoración esperada. Sin embargo, debido a que la matriz incluyó casos sintéticos y un número reducido de casos reales anonimizados, esta evaluación se considera una validación funcional inicial y no una validación externa definitiva.

En la Tabla 33 se presenta la comparación de las predicciones generadas por el modelo según el nivel de confianza asignado.

Tabla 33. Comparación de predicciones con el criterio veterinario según nivel de confianza.

Nivel de confianza	Predicciones correctas	Predicciones incorrectas	Total	% Acierto	% Error
Alta	44	5	49	89,80 %	10,20 %
Media	16	0	16	100,00 %	0,00 %
Baja	4	3	7	57,14 %	42,86 %
Total	64	8	72	88,89 %	11,11 %

Esta comparación muestra que el modelo alcanzó un total de 64 predicciones correctas de 72 casos evaluados, equivalente a un 88,89 % de acierto en la prueba funcional. El nivel de confianza medio presentó el mayor porcentaje de acierto, mientras que el nivel alto concentró la mayor cantidad de predicciones correctas. Estos resultados permiten utilizar el nivel de confianza como una referencia adicional para la revisión del veterinario. A pesar de ello, las predicciones incorrectas evidencian la necesidad de que el resultado sea revisado siempre por el profesional antes de tomar una decisión clínica.

En la Tabla 34 se presenta la comparación entre aciertos y errores según la enfermedad de referencia definida luego de contrastar las predicciones del modelo con el criterio veterinario. Por esta razón, la distribución no coincide exactamente con la Tabla 31, donde se muestran las enfermedades predichas inicialmente por el modelo. Aunque el modelo generó cinco predicciones para Otitis, estas no fueron validadas dentro de esa categoría y fueron reclasificadas; por ello, Otitis no aparece en la Tabla 34.

Tabla 34. Comparación de aciertos y errores por enfermedad en la prueba funcional.

Enfermedad	Aciertos	Errores	Total	% Acierto	% Error
Dermatitis	18	5	23	78,26 %	21,74 %
Distemper	10	0	10	100 %	0 %
Gastroenteritis	9	3	12	75 %	25 %
Parasitosis	1	0	1	100 %	0 %
Parvovirus	9	0	9	100 %	0 %
Traqueobronquitis	17	0	17	100 %	0 %
Total	64	8	72	88,89 %	11,11 %

Permite identificar en qué enfermedades el modelo presentó mayor coincidencia con la referencia esperada y en cuáles existieron mayores diferencias. Esta información es útil porque algunas enfermedades pueden compartir signos clínicos similares, lo que puede generar confusiones durante la predicción. Por ello, el análisis por enfermedad complementa la evaluación general del modelo.

Para complementar el análisis de aciertos e inconsistencias por enfermedad, se elaboró una matriz de confusión entre la enfermedad indicada por el criterio veterinario y la enfermedad predicha por el modelo. Esta herramienta permite observar de manera visual en qué clases el modelo presentó mayor coincidencia y en cuáles se generaron confusiones durante la validación

funcional.

En la Figura 28 se muestra la matriz de confusión utilizada para comparar las predicciones del modelo con el criterio veterinario, permitiendo visualizar los aciertos y errores obtenidos en cada enfermedad evaluada.

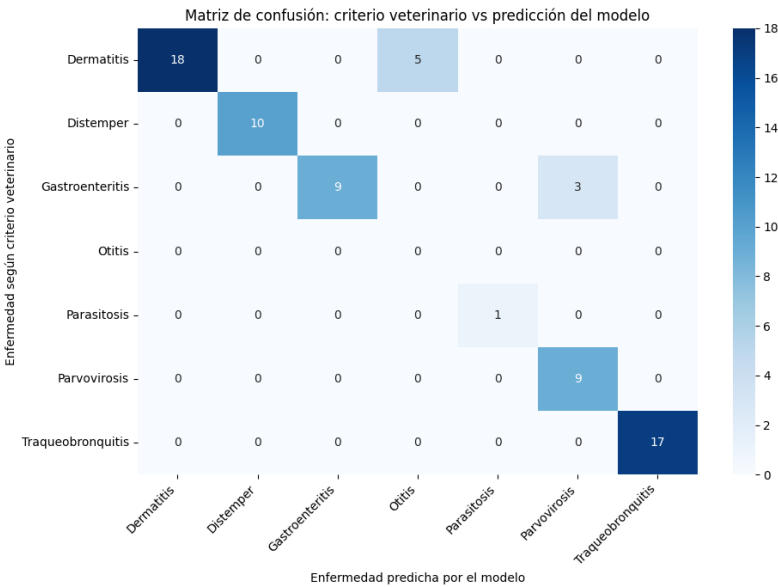


Figura 28. Matriz de confusión entre el criterio veterinario y la predicción del modelo.

La matriz de confusión evidencia el comportamiento del modelo frente a cada enfermedad evaluada. Los valores ubicados en la diagonal principal representan las predicciones que coincidieron con el criterio veterinario, mientras que los valores fuera de la diagonal corresponden a casos en los que el modelo asignó una enfermedad diferente. En términos generales, esta matriz permite identificar si el modelo mantiene un desempeño adecuado en las distintas clases clínicas o si existen enfermedades con mayor tendencia a confundirse entre sí. Estos resultados refuerzan la necesidad de utilizar el sistema como una herramienta de apoyo para la orientación diagnóstica preliminar, manteniendo siempre la revisión final por parte del médico veterinario.

5.3. DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3: PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO DE ATENCIÓN

En este apartado se desarrolla la propuesta de mejora para el proceso de atención veterinaria de SIRA PETS, tomando como base el diagnóstico realizado en el objetivo 1 y los resultados obtenidos en el objetivo 2. La idea principal es incorporar el modelo predictivo como una herramienta de apoyo dentro de la atención clínica, de manera que la información registrada en

la ficha del paciente pueda ser utilizada para orientar posibles enfermedades caninas.

Esta propuesta no pretende sustituir el criterio del médico veterinario, ya que la decisión final siempre debe depender de la valoración profesional. Más bien, busca complementar el proceso de atención mediante el uso de datos históricos, síntomas y signos clínicos registrados. Así, el modelo puede generar una enfermedad probable que sirva como referencia para el veterinario, quien deberá revisar el resultado, relacionarlo con la condición real del paciente y confirmar o ajustar el diagnóstico según corresponda [3].

5.3.1. Metodología de la validación

La unidad de evaluación corresponde a una atención veterinaria ambulatoria de un paciente canino. La proyección únicamente tiene en cuenta las actividades administrativas y de apoyo diagnóstico de la atención básica en la que se introducían las actividades modificadas por la propuesta (registro de información, búsqueda de antecedentes, consulta de enfermedades frecuentes y estandarización del diagnóstico final) y no contenía el examen físico, las pruebas complementarias, el tratamiento ni la hospitalización porque todas estas actividades dependerían de la duración de la condición clínica real de cada paciente y, por lo tanto, no sufrirían la reducción del tiempo gracias al modelo.

Para el siguiente caso, se proyectó el tiempo total consumido en cada una de las 15 atenciones y se calculó el promedio por paciente. La completitud de la ficha se evaluó considerando el número de registros que contienen la totalidad de los campos obligatorios definidos en la propuesta, mientras que la estandarización de los diagnósticos se evaluó con los registros que se ajustaron a un catálogo único de enfermedades.

Ecuaciones utilizadas

$$\frac{\text{Tiempo total de la actividad}}{\text{Número de atenciones}} \quad (1)$$

Ecuación 1 Tiempo promedio.

Donde el tiempo promedio se expresa en minutos por atención.

$$\frac{T_{\text{actual}} - T_{\text{propuesto}}}{T_{\text{actual}}} \times 100 \quad (2)$$

Ecuación 2 Reducción del tiempo.

$$\frac{\text{Registros completos}}{\text{Total de registros}} \times 100 \quad (3)$$

Ecuación 3 Completitud de la ficha.

$$\frac{\text{Diagnósticos registrados con catálogo}}{\text{Total de diagnósticos}} \times 100 \quad (4)$$

Ecuación 4 Diagnósticos estandarizados.

5.3.2. Levantamiento de tiempos de 15 atenciones

Para detallar la comparación antes/después, se estructuró un escenario de quince atenciones ambulatorias caninas comparables. En cada caso se consideraron únicamente las actividades modificadas directamente por la propuesta: registro del paciente, búsqueda de antecedentes y consulta de enfermedades frecuentes. El examen físico, los exámenes complementarios, el tratamiento y la hospitalización no se cronometraron, debido a que dependen de la condición clínica y permanecen bajo responsabilidad del médico veterinario.

En la Tabla 35 se presenta el levantamiento del proceso actual en quince atenciones veterinarias ambulatorias, considerando únicamente las actividades de apoyo directamente relacionadas con el registro, la búsqueda de antecedentes y la consulta de enfermedades frecuentes.

Tabla 35. Levantamiento del proceso actual en 15 atenciones veterinarias.

N.º	Registro (min)	Búsqueda de antecedentes (min)	Consulta de enfermedades frecuentes (min)	Tiempo total de apoyo (min)	Ficha completa	Diagnóstico estandarizado
1	6,5	5,0	3,0	14,5	Sí	Sí
2	5,5	4,5	2,5	12,5	Sí	No
3	6,0	5,5	3,5	15,0	No	Sí
4	6,5	5,0	3,0	14,5	Sí	Sí
5	5,5	4,5	2,5	12,5	Sí	No
6	6,0	5,5	3,5	15,0	Sí	Sí
7	5,5	5,0	3,0	13,5	Sí	Sí
8	6,5	4,5	2,5	13,5	No	No
9	6,0	5,5	3,5	15,0	Sí	Sí
10	5,5	5,0	3,0	13,5	Sí	Sí
11	6,5	4,5	2,5	13,5	Sí	No
12	6,0	5,5	3,5	15,0	Sí	Sí
13	5,5	5,0	3,0	13,5	No	Sí

14	6,5	5,0	3,0	14,5	Sí	No
15	6,0	5,0	3,0	14,0	Sí	Sí
Total	90,0	75,0	45,0	210,0	12/15	10/15

En la Tabla 36 se presenta el escenario propuesto para las mismas quince atenciones veterinarias, considerando la incorporación de la ficha clínica estandarizada, la centralización de antecedentes y el apoyo del dashboard predictivo.

Tabla 36. Levantamiento del proceso propuesto en 15 atenciones veterinarias.

N.º	Registro (min)	Búsqueda de antecedentes (min)	Consulta de enfermedades frecuentes (min)	Tiempo total de apoyo (min)	Ficha completa	Diagnóstico estandarizado
1	3,5	1,5	0,5	5,5	Sí	Sí
2	3,0	1,0	0,5	4,5	Sí	Sí
3	4,0	2,0	0,5	6,5	Sí	Sí
4	3,5	1,5	0,5	5,5	Sí	Sí
5	3,0	1,0	0,5	4,5	Sí	Sí
6	4,0	2,0	0,5	6,5	Sí	Sí
7	3,5	1,5	0,5	5,5	Sí	Sí
8	3,0	1,0	0,5	4,5	No	Sí
9	4,0	2,0	0,5	6,5	Sí	Sí
10	3,5	1,5	0,5	5,5	Sí	Sí
11	3,0	1,0	0,5	4,5	Sí	Sí
12	4,0	2,0	0,5	6,5	Sí	Sí
13	3,5	1,5	0,5	5,5	Sí	Sí
14	3,5	1,5	0,5	5,5	Sí	Sí
15	3,5	1,5	0,5	5,5	Sí	Sí
Total	52,5	22,5	7,5	82,5	14/15	15/15

La comparación entre los tiempos observados del proceso actual y los tiempos estimados para el escenario propuesto permite proyectar una reducción en las actividades de apoyo administrativo y consulta de información. Esta estimación no corresponde al tiempo empleado en el acto clínico del médico veterinario, sino únicamente a las actividades de registro, búsqueda de antecedentes y consulta de información que podrían optimizarse mediante la propuesta.

Cálculo de los resultados del levantamiento

El tiempo promedio del proceso actual se obtuvo dividiendo los 210,0 minutos acumulados las quince atenciones entre el número de observaciones:

$$T_{actual} = 210,0 / 15 = 14,00 \text{ min/atención}$$

En el proceso propuesto, el tiempo acumulado de las actividades de apoyo es de 82,5 minutos:

$$T_{propuesto} = 82,5 / 15 = 5,50 \text{ min/atención}$$

El ahorro promedio y la reducción porcentual se determinan de la siguiente manera:

$$Ahorro \text{ promedio} = 14,00 - 5,50 = 8,50 \text{ min/atención}$$

$$Reducción (\%) = [(210,0 - 82,5) / 210,0] * 100 = 60,71 \%$$

En los indicadores de calidad, doce de las quince fichas del proceso actual se consideran completas, equivalentes al 80,00 %, mientras que en el proceso propuesto catorce de quince alcanzan los campos obligatorios, equivalentes al 93,33 %. El diagnóstico final estandarizado pasa de diez de quince registros (66,67 %) a quince de quince (100,00 %).

5.3.3. Comparación entre el proceso actual y el proceso propuesto

El proceso actual de atención veterinaria en SIRA PETS se desarrolla de forma secuencial, desde la llegada del paciente hasta el registro final del caso. En el proceso propuesto se mantiene la participación central del médico veterinario, pero se incorpora una etapa adicional de apoyo mediante el modelo predictivo, después del ingreso estandarizado de síntomas y antes de la confirmación clínica. Esta integración permite que la predicción funcione como una referencia orientativa, sin sustituir la valoración profesional del caso [3].

A continuación, se observa el desarrollo de los cálculos

a) Reducción del tiempo de registro

$$T_{actual} = \frac{90 \text{ min}}{15 \text{ atenciones}} = 6,00 \text{ min/atención}$$

$$T_{propuesto} = \frac{52,5 \text{ min}}{15 \text{ atenciones}} = 3,50 \text{ min/atención}$$

$$Reducción = \frac{6,00 - 3,50}{6,00} * 100 = 41,67 \%$$

La ficha estandarizada evita solicitar nuevamente información ya registrada y obliga a completar los campos esenciales, por lo que se proyecta una disminución de 2,50 minutos por paciente.

b) Reducción del tiempo de búsqueda de antecedentes

$$T_{actual} = \frac{75 \text{ min}}{15 \text{ atenciones}} = 5,00 \text{ min/atención}$$

$$T_{propuesto} = \frac{22,5 \text{ min}}{15 \text{ atenciones}} = 1,50 \text{ min/atención}$$

$$Reducción = \frac{5,00 - 1,50}{5,00} * 100 = 70,00 \%$$

La centralización de la información clínica permite localizar el historial del paciente mediante un código único, disminuyendo la revisión manual de fichas y archivos separados.

c) Mejora de la completitud de la ficha clínica

$$Completitud_{actual} = \frac{12}{15} * 100 = 80,00 \%$$

$$Completitud_{propuesta} = \frac{14}{15} * 100 = 93,33 \%$$

$$Mejora_{relativa} = \frac{93,33 - 80,00}{80,00} * 100 = 16,67 \%$$

La diferencia absoluta corresponde a 13,33 puntos porcentuales. La mejora se relaciona con el uso de campos obligatorios para edad, peso, raza, sexo, síntomas, signos clínicos, diagnóstico final y tratamiento. Se conserva un margen menor al 100 % porque pueden existir situaciones excepcionales en las que un dato no esté disponible durante la consulta.

d) Reducción del tiempo de consulta de enfermedades frecuentes

$$T_{actual} = \frac{45 \text{ min}}{15 \text{ atenciones}} = 3,00 \text{ min/atención}$$

$$T_{propuesto} = \frac{7,5 \text{ min}}{15 \text{ atenciones}} = 0,50 \text{ min/atención}$$

$$Reducción = \frac{3,00 - 0,50}{3,00} * 100 = 83,33 \%$$

El dashboard muestra automáticamente las enfermedades de mayor frecuencia y la predicción orientativa generada por el modelo, evitando una búsqueda manual en registros históricos. El resultado continúa sujeto a la revisión del médico veterinario.

e) Mejora de la estandarización del diagnóstico final

$$\text{Estandarización actual} = \frac{10}{15} * 100 = 66,67 \%$$

$$\text{Estandarización propuesta} = \frac{15}{15} * 100 = 100,00 \%$$

$$\text{Mejora relativa} = \frac{100,00 - 66,67}{66,67} * 100 = 50,00 \%$$

El catálogo único de diagnósticos reduce abreviaturas, variaciones ortográficas y denominaciones diferentes para una misma enfermedad. La estandarización no modifica el criterio clínico, sino la forma en que el diagnóstico confirmado se registra y queda disponible para futuros análisis.

f) Reducción global del tiempo de las actividades de apoyo

$$T \text{ actual total} = 6,00 + 5,00 + 3,00 = 14,00 \text{ min/atención}$$

$$T \text{ propuesto total} = 3,50 + 1,50 + 0,50 = 5,50 \text{ min/atención}$$

$$\text{Reducción global} = \frac{14,00 - 5,50}{14,00} * 100 = 60,71 \%$$

$$\text{Tiempo ahorrado en 15 atenciones} = (14,00 - 5,50) * 15 = 127,5 \text{ min}$$

En la Tabla 37 se presenta la comparación entre el proceso actual de atención veterinaria y el proceso propuesto, considerando la incorporación del modelo predictivo como herramienta de apoyo para la orientación diagnóstica.

Tabla 37. Comparación entre el proceso actual y el proceso propuesto.

Aspecto	Proceso actual	Proceso propuesto
Registro de síntomas	Depende de la situación y del profesional que lo realice	Registro estructurado mediante ficha estandarizada.
Consulta de antecedentes	Se revisa de forma manual en la ficha clínica.	Se mantiene la revisión clínica y se apoya con datos organizados.
Orientación	Depende principalmente del	Se apoya en el criterio veterinario

diagnóstica	criterio veterinario.	y en la predicción del modelo.
Priorización de enfermedades frecuentes	Se realiza según experiencia clínica.	Se basa también en patrones históricos identificados por el modelo.
Uso de datos históricos	Limitado a consulta individual del paciente.	Se aprovecha para alimentar y mejorar el modelo predictivo.
Indicadores de gestión	No se visualizan de forma integrada.	Se proponen indicadores mediante dashboard o prototipo visual.
Toma de decisiones	Manual y basada en valoración clínica.	Apoyada por predicción, revisión veterinaria y confirmación clínica.

El proceso propuesto busca mejorar la atención veterinaria mediante un flujo de trabajo estructurado que integra el registro clínico estandarizado, el uso de datos históricos y un modelo predictivo como herramienta de apoyo para la orientación diagnóstica. Esta propuesta puede fortalecer la toma de decisiones del médico veterinario sin reemplazar su criterio profesional, además de reducir los tiempos de las actividades de apoyo y mejorar la gestión de la información clínica.

En la Tabla 38 se resumen los principales indicadores de mejora proyectados para el proceso de atención veterinaria, comparando el estado actual con el proceso propuesto.

Tabla 38. Indicadores comparativos entre el proceso actual y el proceso propuesto.

Indicador	Proceso actual	Proceso propuesto	Mejora esperada
Tiempo de registro del paciente	90 min en 15 casos 6,00 min/caso	52,5 min en 15 casos 3,50 min/caso	Reducción del 41,67 %
Tiempo de búsqueda de antecedentes	75 min en 15 casos 5,00 min/caso	22,5 min en 15 casos 1,50 min/caso	Reducción del 70,00 %
Complejidad de la ficha clínica	12 de 15 fichas 80,00 %	14 de 15 fichas 93,33 %	Aumento de 13,33 puntos porcentuales (16,67 % relativo)
Consulta de enfermedades frecuentes	Manual 45 min en 15 casos 3,00 min/caso	Automática mediante dashboard 7,5 min en 15 casos 0,50 min/caso	Reducción del 83,33 %
Registro del diagnóstico final	No totalmente estandarizado 10 de 15 casos: 66,67 %	Estandarizado mediante catálogo 15 de 15 casos: 100 %	Aumento de 33,33 puntos porcentuales (50,00 % relativo)

Tiempo total de actividades de apoyo	210 min en 15 casos 14,00 min/caso	82,5 min en 15 casos 5,50 min/caso	Reducción global del 60,71 %
--------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------

La comparación proyectada sugiere que las actividades de apoyo previas y posteriores a la valoración clínica podrían reducirse de 14,00 a 5,50 minutos por paciente, lo que se traduce en un descenso global de 60,71 % en el tiempo dedicado a estos pacientes; de esta manera, en un grupo de 15 atenciones, el ahorro esperado sería de 127,5 minutos, que son 2 horas, 07,5 minutos de trabajo operativamente útil, y que se pueden destinar a la valoración clínica, la explicación del tratamiento al propietario o la atención de nuevos pacientes.

Respecto de la calidad de la información, la completitud de las fichas aumentaría de 80 % a 93,33 %, mientras que el uso de diagnósticos estandarizados pasaría de 66,67 % a 100,00 % en el escenario proyectado. Este hecho promueve la trazabilidad en los documentos que se generan, disminuye la necesidad de depurar los registros y permite que los datos introducidos sean utilizados de forma más consistente por la herramienta del modelo predictivo y por el dashboard.

5.3.4. Integración y validación del modelo predictivo en la atención veterinaria

La optimización del proceso de consultas se encuentra orientada a la transformación del flujo habitual en un modelo de atención de tipo pronóstico y de alto índice de precisión. El modelo de pronóstico configurado se adopta secuencialmente a continuación del registro de datos y de la recolección estandarizada de signos clínicos del paciente canino. En este contexto, la información recolectada y generada automáticamente se procesa con los algoritmos de clasificación (Random Forest y SVM) que emiten una enfermedad probable con un índice de certidumbre. El paso siguiente corresponde a que el médico veterinario pone en relación este resultado automatizado con su criterio clínico para conformarse en la toma de decisiones con la finalidad de disminuir el margen de error diagnóstico.

El flujo propuesto para el proceso de consultas mejorado comprende las siguientes etapas secuenciales:

1. Llegada del paciente:
2. Registro de datos
3. Ingreso estandarizado
4. Procesamiento de información

5. Generación de enfermedad probable
6. Revisión médica
7. Confirmación clínica
8. Definición de directrices
9. Registro final del caso
10. Retroalimentación del sistema

En la Figura 29 se presenta el proceso propuesto de consulta veterinaria, incorporando el uso del modelo predictivo como herramienta de apoyo antes de la confirmación clínica del diagnóstico.

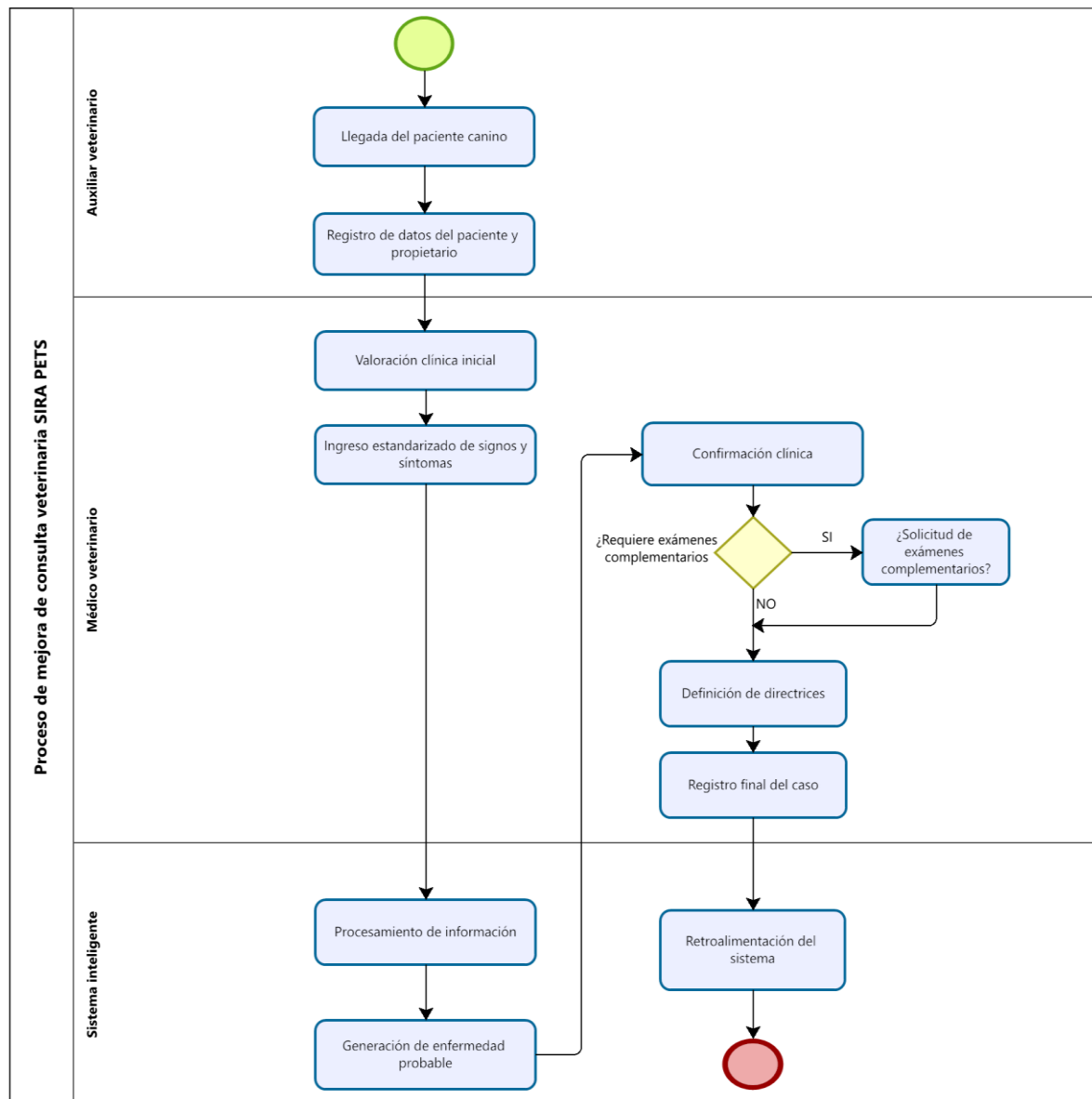


Figura 29. Proceso de mejora de consulta veterinaria con apoyo del modelo predictivo.

La integración del modelo predictivo se propone de manera secuencial tras el registro de datos del paciente y el ingreso estandarizado de síntomas y signos clínicos. En esta etapa, la información registrada es procesada por el algoritmo de clasificación seleccionado, el cual genera una enfermedad probable y un nivel de confianza asociado. Posteriormente, el médico veterinario revisa el resultado automatizado, lo contrasta con su valoración clínica y define el curso de acción, ya sea confirmando el diagnóstico, solicitando exámenes complementarios o estableciendo un enfoque preventivo o terapéutico ajustado al caso.

Se complementa la comparación antes/después con una validación por juicio de cuatro expertos. El objetivo de esta validación es determinar si la propuesta, los indicadores seleccionados y las reducciones proyectadas son pertinentes, técnicamente razonables y aplicables al proceso de atención de SIRA PETS. La evaluación no sustituye al estudio de tiempos posterior, ni certifica un diagnóstico clínico, sólo permite avalar la coherencia y viabilidad de la mejora planteada.

Con el fin de mantener el carácter interdisciplinario del proyecto, se plantea la participación de los perfiles indicados en la Tabla 39.

Tabla 39. Registro y perfil de los cuatro expertos seleccionados.

Código	Nombre del experto	Años de experiencia	Institución o cargo
E1	Emilio Tufiño	3	Médico Veterinario
E2	Karina Aguirre	3	Licenciada
E3	Mateo Abad	1	Auxiliar veterinaria
E4	Karla Aldna	2	Auxiliar veterinario

Instrumento de evaluación

Cada experto calificó los criterios presentados en la Tabla 40 mediante una escala ordinal de cinco puntos: 1 = no pertinente o no viable; 2 = poco pertinente; 3 = moderadamente pertinente; 4 = pertinente; y 5 = muy pertinente o totalmente viable. Además, se registraron observaciones y ajustes recomendados. Además, podrá registrar observaciones y ajustes recomendados.

Escala: 1 = no pertinente/no viable; 2 = poco pertinente; 3 = moderadamente pertinente; 4 = pertinente; 5 = muy pertinente/totalmente viable.

Tabla 40. Matriz de valoración de la propuesta por cuatro expertos.

Ítem	Criterio de validación	E1	E2	E3	E4	Observaciones
C1	El diagnóstico presentado representa adecuadamente el proceso actual de atención y registro clínico de SIRA PETS.	5	5	4	4	Adecuado; se recomienda aclarar que la comparación corresponde a atenciones ambulatorias caninas.
C2	La ficha clínica estandarizada es pertinente para reducir omisiones y mejorar la trazabilidad de los casos.	5	5	5	4	Pertinente; mantener campos obligatorios y alertas para datos faltantes.
C3	La reducción proyectada del tiempo de registro de 6,00 a 3,50 min por atención (41,67 %) es técnicamente razonable.	4	4	5	4	Razonable para pacientes previamente registrados; debe comprobarse mediante cronometraje real.
C4	La reducción proyectada del tiempo de búsqueda de antecedentes de 5,00 a 1,50 min (70,00 %) es técnicamente razonable.	4	4	5	4	Factible si los antecedentes se centralizan y se consultan mediante un código único.
C5	El aumento proyectado de fichas completas de 80,00 % a 93,33 % es alcanzable mediante campos obligatorios.	5	4	4	4	Alcanzable con campos obligatorios y revisión de completitud antes de cerrar la ficha.
C6	La consulta automática de enfermedades frecuentes y del resultado orientativo puede reducir el tiempo de 3,00 a 0,50 min (83,33 %).	5	4	4	3	Viable, aunque el tiempo de 0,50 min debe verificarse durante el piloto del dashboard.

C7	El uso de un catálogo único puede elevar el registro estandarizado del diagnóstico final de 66,67 % a 100,00 %.	5	5	4	4	Viable con un catálogo controlado de diagnósticos y una opción para casos no contemplados.
C8	La reducción global proyectada de las actividades de apoyo de 14,00 a 5,50 min por atención (60,71 %) es coherente con la propuesta.	4	4	4	4	Coherente como proyección; requiere validación con las quince atenciones observadas.
C9	La integración del modelo Random Forest y del dashboard es útil como apoyo, sin sustituir el criterio del médico veterinario.	5	5	5	5	Muy pertinente, siempre que la predicción sea revisada por el médico veterinario.
C10	La propuesta es viable para una implementación piloto en SIRA PETS, considerando recursos, seguridad y facilidad de uso.	5	4	4	3	Viable para un piloto; se recomienda capacitación, respaldo de datos y control de accesos.

La propuesta presentada fue bien valorada, obteniendo una puntuación de 175 sobre 200, equivalente al 87,5 %. Este resultado indica que la propuesta es pertinente, técnicamente adecuada y viable para su aplicación en la clínica veterinaria SIRA PETS.

5.3.5. Ficha clínica estandarizada para nuevos registros

Para que el modelo predictivo funcione de manera adecuada, se propone una ficha clínica estandarizada que permita registrar la información del paciente de forma ordenada y completa. Esta ficha facilitaría la recolección de datos útiles para la consulta veterinaria y, al mismo tiempo, permitiría alimentar la base de datos utilizada por el modelo.

En la Tabla 41 se presentan los campos propuestos para el registro de nuevos pacientes, con el fin de organizar de manera estandarizada la información necesaria para la consulta veterinaria

y para el funcionamiento del modelo predictivo.

Tabla 41. Definición de campos para el registro de casos clínicos veterinarios.

Campo	Descripción	Obligatorio
Código del paciente	Identificador único del caso o historia clínica.	Sí
Fecha de atención	Día en que se realiza la consulta.	Sí
Datos del propietario	Nombre y contacto del responsable del paciente.	Sí
Especie	Tipo de paciente atendido.	Sí
Raza	Raza del paciente o “No registrado” si se desconoce.	Sí
Edad	Edad del paciente.	Sí
Sexo	Macho o hembra.	Sí
Peso	Peso registrado durante la atención.	Sí
Motivo de consulta	Razón principal por la que acude el paciente.	Sí
Síntomas principales	Manifestaciones reportadas por el propietario.	Sí
Signos clínicos	Hallazgos observados por el veterinario.	Sí
Enfermedad probable sugerida	Resultado emitido por el modelo predictivo.	No
Diagnóstico final	Diagnóstico confirmado por el médico veterinario.	Sí
Tratamiento	Medicación, procedimiento o indicaciones aplicadas.	Sí
Observaciones	Información adicional del caso.	No

La tabla permite organizar los campos mínimos que deberían registrarse durante la atención veterinaria. Su aplicación contribuiría a reducir omisiones, mejorar la trazabilidad del paciente y disponer de datos más consistentes para futuras actualizaciones del modelo predictivo.

5.3.6. Indicadores de mejora del proceso

Para evaluar la propuesta, se plantean indicadores relacionados con eficiencia, calidad del registro, uso del modelo y apoyo diagnóstico. Estos indicadores permitirían dar seguimiento al desempeño del proceso mejorado, aun cuando la implementación completa del sistema se realice en una etapa posterior.

En la Tabla 42 se presentan los indicadores propuestos para evaluar la mejora del proceso de atención veterinaria, considerando aspectos relacionados con eficiencia, calidad del registro, uso del modelo y apoyo diagnóstico.

Tabla 42. Indicadores propuestos para evaluar la mejora del proceso.

Indicador	Fórmula o forma de medición	Propósito
Tiempo promedio de atención	Tiempo total de atención / número de pacientes	Medir eficiencia del proceso.
Porcentaje de registros completos	Registros completos / total de registros x 100	Medir calidad de la información clínica.
Enfermedades más frecuentes	Frecuencia por diagnóstico	Identificar demanda clínica.
Exactitud del modelo	Predicciones correctas / total de casos evaluados	Medir desempeño predictivo.
Casos orientados por el modelo	Casos procesados por el modelo / total de casos x 100	Medir uso de la herramienta.
Coincidencia modelo-veterinario	Predicciones coincidentes / total de casos revisados x 100	Evaluar apoyo diagnóstico.
Nivel de confianza promedio	Promedio de probabilidades emitidas por el modelo	Analizar seguridad de las predicciones.

Los indicadores propuestos permiten evaluar la mejora desde diferentes dimensiones: eficiencia del proceso, calidad del registro clínico, uso del modelo predictivo y apoyo a la orientación diagnóstica. Estos indicadores pueden aplicarse en una etapa posterior para verificar si la propuesta genera mejoras reales dentro de la clínica.

5.3.7. Dashboard o prototipo visual de apoyo

Como parte de la propuesta de mejora, se desarrolló un prototipo visual de apoyo mediante la herramienta Streamlit, con el propósito de integrar el modelo predictivo al proceso de atención veterinaria de la clínica SIRA PETS. Este prototipo permite registrar datos básicos del paciente, ingresar signos clínicos, generar una predicción orientativa de enfermedad probable y visualizar información útil para el seguimiento de los casos. Los resultados mostrados por el prototipo

deben ser revisados por el médico veterinario antes de tomar una decisión clínica.

El dashboard no se plantea como un sistema clínico definitivo, sino como una herramienta de apoyo para la orientación diagnóstica y la organización de la información. Su función principal es complementar el criterio del médico veterinario, permitiendo que los datos registrados se utilicen de forma estructurada para apoyar la toma de decisiones.

Para el funcionamiento del prototipo se definieron dos tipos de usuario: médico veterinario y administrador. Esta diferenciación permite organizar las funciones del sistema y controlar el acceso a las secciones disponibles según el rol asignado.

El médico veterinario corresponde al usuario operativo del sistema. Este perfil puede registrar nuevos pacientes, ingresar signos y síntomas clínicos, consultar la predicción generada por el modelo y utilizar esta información como apoyo durante la valoración del caso.

El administrador corresponde al usuario responsable de la gestión técnica del sistema. Este perfil puede cargar la base histórica, actualizar los registros utilizados para el entrenamiento y ejecutar la actualización del modelo predictivo cuando sea necesario.

La separación de roles permite proteger la información clínica y reducir el riesgo de modificaciones accidentales o no autorizadas en la base de datos o en el modelo predictivo.

En la Tabla 43 se presentan los elementos principales del dashboard desarrollado como prototipo visual de apoyo, junto con la función que cumple cada componente dentro del proceso de atención veterinaria.

Tabla 43. Elementos del dashboard desarrollado para el apoyo a la atención veterinaria.

Elemento del dashboard	Descripción dentro del prototipo
Número de pacientes atendidos	Muestra la cantidad de registros históricos utilizados y los nuevos pacientes ingresados al sistema.
Enfermedades más frecuentes	Permite visualizar cuáles son las enfermedades caninas más registradas en la base de datos.
Distribución de casos por diagnóstico	Presenta la cantidad de casos asociados a cada enfermedad considerada por el modelo.
Síntomas más comunes	Resume los signos clínicos registrados con mayor frecuencia en los pacientes.
Predicción de enfermedad probable	Genera la enfermedad más probable a partir de los datos y síntomas ingresados.

Nivel de confianza del modelo	Indica si la predicción obtenida presenta confianza alta, media o baja.
Métricas de desempeño del modelo	Muestra información relacionada con el comportamiento del modelo predictivo y sus resultados.
Casos por mes	Permite organizar los casos registrados según la fecha de atención.
Resumen clínico del paciente	Genera una síntesis ordenada con los datos principales del paciente, predicción, prioridad sugerida y observaciones.

La tabla resume los componentes principales del dashboard y su función dentro del prototipo. Estos elementos permiten visualizar información clínica relevante, registrar nuevos pacientes, revisar enfermedades frecuentes y generar predicciones orientativas, facilitando el uso del modelo dentro del flujo de atención veterinaria.

En la Figura 30 se muestra la ventana de inicio de sesión del dashboard desarrollado para SIRA PETS. Esta pantalla permite el acceso del personal autorizado mediante usuario y contraseña, diferenciando las funciones disponibles según el rol asignado, como veterinario o administrador.

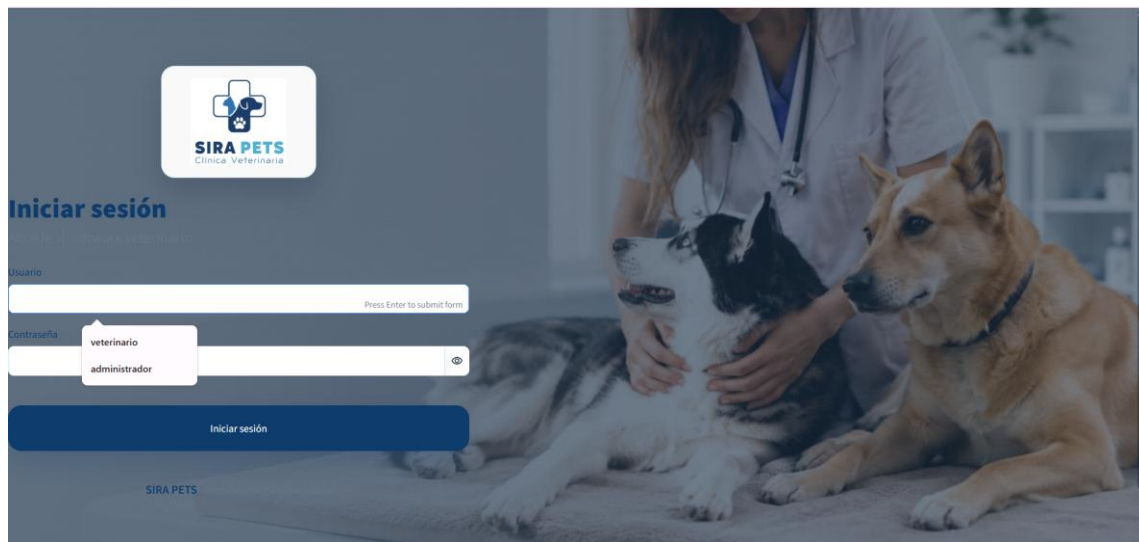


Figura 30. Ventana de inicio de sesión del dashboard de apoyo clínico.

La ventana de inicio de sesión permite controlar el acceso al prototipo web mediante credenciales de usuario. Esta función ayuda a diferenciar el ingreso según el perfil asignado, ya sea médico veterinario o administrador, y evita que personas no autorizadas ingresen a las

secciones del sistema. Además, el uso del logotipo de SIRA PETS permite identificar visualmente el prototipo con la clínica veterinaria donde se desarrolla la propuesta.

En la Figura 31 se muestra el panel principal del dashboard desarrollado para apoyar la visualización de información clínica, predicciones nuevas e indicadores generales del modelo.

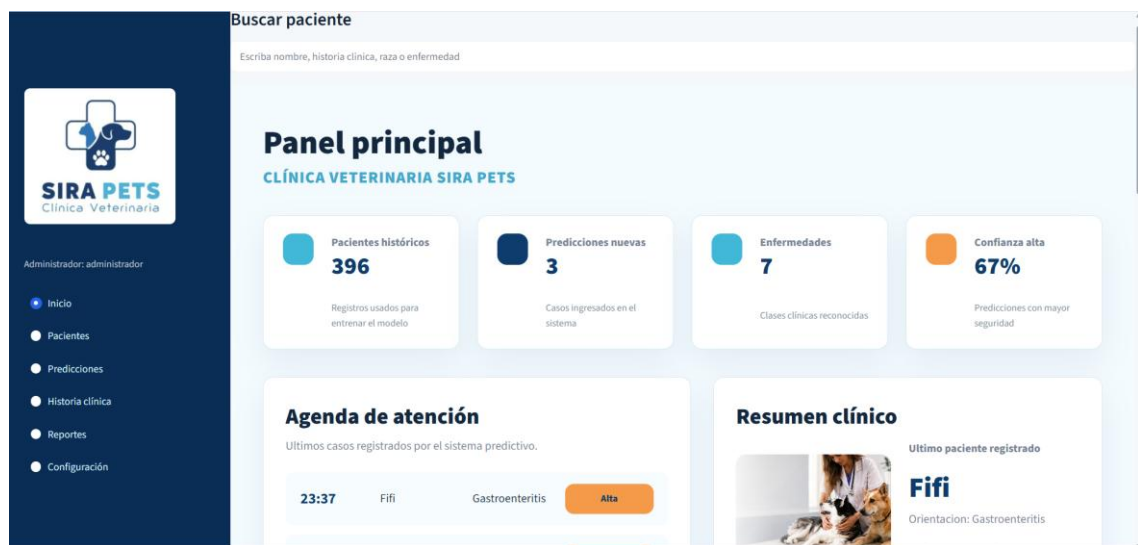


Figura 31. Panel principal del dashboard de apoyo clínico.

El panel principal permite observar de forma resumida los registros utilizados por el modelo, las predicciones nuevas y la información clínica más relevante para el seguimiento de los pacientes. Esta visualización facilita que el personal de la clínica revise los datos de manera más rápida y organizada.

En la Figura 32 se muestra la interfaz destinada al ingreso de datos del paciente y signos clínicos necesarios para generar la predicción del modelo.

Registro y prediccion de nuevo paciente canino

El resultado es una orientacion basada en datos historicos. La decision final siempre corresponde al medico veterinario.

Datos del paciente usados por el modelo

Sexo: Macho, Edad - años: 0, Edad - meses: 0, Raza: Escriba la raza del paciente

Peso Kg: 1,00, Castrado: No, Perdida Peso: No

Signos y sintomas para la prediccion

Vomito: No, Diarrea: No, Fiebre: No

Tos: No, Estornudos: No, Secrecion Nasal: No

Secrecion Ocular: No, Dificultad Resp: No, Picaazon: No

Caída Pelo: No, Lesiones Cutaneas: No, Dolor Abdominal: No

Figura 32. Interfaz de ingreso de datos clínicos del paciente.

Esta interfaz permite registrar la información clínica inicial del paciente de forma estructurada, incluyendo datos generales, signos y síntomas relevantes. Con esta información, el modelo procesa las variables ingresadas y genera una predicción orientativa que sirve como apoyo para la valoración del médico veterinario.

En la Figura 33 se presenta la salida generada por el prototipo después de ingresar los datos del paciente y los signos clínicos correspondientes.



Figura 33. Resultado de predicción generado por el prototipo.

En la salida del prototipo se observa la enfermedad probable, la probabilidad máxima obtenida,

el nivel de confianza y la prioridad sugerida para la atención. Esta información ofrece al médico veterinario una orientación inicial, que debe ser revisada y confirmada mediante la valoración clínica profesional.

5.3.8. Validación de la usabilidad del prototipo web propuesto

La validación de usabilidad se realizó con el propósito de conocer la percepción de los usuarios sobre el dashboard desarrollado para SIRA PETS. Para ello, se aplicó la escala System Usability Scale (SUS), instrumento compuesto por diez enunciados con respuestas tipo Likert de cinco niveles. Esta herramienta permite obtener un puntaje global de usabilidad entre 0 y 100 puntos, aunque dicho valor no debe interpretarse como porcentaje [35].

Para la interpretación general de los resultados se consideró como referencia el valor de 68 puntos, empleado en estudios de comparación de usabilidad en aplicaciones digitales de salud [36].

Metodología de cálculo

Cada respuesta de la escala Likert fue convertida a un valor numérico entre 1 y 5. Las preguntas impares tienen sentido positivo, mientras que las preguntas pares tienen sentido negativo. Por esta razón, el cálculo transforma las respuestas para que todos los aportes queden orientados hacia la usabilidad percibida del sistema [35].

En la Tabla 44 se presenta la escala de valoración utilizada para convertir las respuestas de la encuesta SUS en valores numéricos, de acuerdo con el nivel de acuerdo seleccionado por cada participante.

Tabla 44. Escala de valoración utilizada en la encuesta SUS.

Respuesta	Valor
Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
Neutro	3
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo fueron las siguientes:

$$C_{impar} = (Q1 + Q3 + Q5 + Q7 + Q9) - 5 \quad (5)$$

Ecuación 5 Coeficiente de ítems impares.

Significa que se suman las respuestas de las preguntas impares, que son las preguntas positivas de la escala SUS, y luego se resta 5.

$$Q1 + Q3 + Q5 + Q7 + Q9$$

respuestas de las preguntas impares.

$$C_{par} = 25 - (Q2 + Q4 + Q6 + Q8 + Q10) \quad (6)$$

Ecuación 6 Coeficiente de ítems pares.

Esta fórmula corresponde a las preguntas pares, que tienen sentido negativo. Se suman esas cinco respuestas y el resultado se resta de 25.

$$Q2 + Q4 + Q6 + Q8 + Q10$$

respuestas de las preguntas pares.

$$SUS = (C_{impar} + C_{par}) \times 2,5 \quad (7)$$

Ecuación 7 Escala de Usabilidad del Sistema.

Esta es la fórmula final. Se suman las contribuciones obtenidas de las preguntas impares y pares y el resultado se multiplica por 2,5 para convertirlo a una escala de 0 a 100.

De forma equivalente, para cada pregunta positiva se aplica la operación respuesta - 1 y para cada pregunta negativa se aplica 5 - respuesta. Finalmente, la suma de todas las contribuciones se multiplica por 2,5.

En la Tabla 45 se presenta el cálculo del puntaje SUS obtenido por cada participante, considerando la suma de los ítems impares, el ajuste de los ítems pares y el puntaje final de usabilidad.

Tabla 45. Cálculo del puntaje SUS por participante.

Participante	Suma impares	Ajuste impares	Suma pares	Ajuste pares	Puntaje SUS	Interpretación
1	25	20	5	20	100.00	Excelente
2	24	19	13	12	77.50	Bueno / aceptable

3	23	18	8	17	87.50	Excelente
4	21	16	13	12	70.00	Bueno / aceptable

En la Tabla 46 se presenta el resumen estadístico de los resultados obtenidos mediante la encuesta SUS, considerando el número de respuestas analizadas, el puntaje promedio, la mediana, la desviación estándar, el puntaje mínimo, el puntaje máximo y el número de participantes con puntajes iguales o superiores a 68.

Tabla 46. Resumen estadístico de los resultados SUS.

Indicador	Resultado
Número de respuestas analizadas	4
Promedio SUS	83,75
Mediana	82,50
Desviación estándar	12,99
Puntaje mínimo	70,00
Puntaje máximo	100,00
Participantes con puntaje igual o superior a 68	4 de 4

Los resultados obtenidos en la aplicación de la encuesta SUS muestran una valoración favorable de la usabilidad del dashboard desarrollado para SIRA PETS. Se analizaron cuatro respuestas, obteniendo un promedio SUS de 83,75 puntos, valor que se encuentra por encima del puntaje de referencia de 68 puntos utilizado comúnmente para interpretar la aceptabilidad de un sistema. La mediana fue de 82,50, lo que indica que la tendencia central de las respuestas también se mantiene en un nivel alto. Asimismo, el puntaje mínimo fue de 70,00 y el máximo de 100,00, por lo que todos los participantes evaluaron el sistema por encima del valor de referencia. La desviación estándar de 12,99 refleja cierta variación entre las respuestas, pero sin afectar la interpretación general positiva. En este sentido, los resultados sugieren que el prototipo fue percibido como comprensible, útil y fácil de utilizar por los usuarios encuestados. Sin embargo, al tratarse de una muestra pequeña, estos resultados deben considerarse como una validación inicial, recomendándose ampliar la aplicación de la encuesta a más usuarios de la clínica para fortalecer la evaluación de usabilidad del sistema.

En la Figura 34 se representa gráficamente el puntaje SUS obtenido por cada participante, comparado con el valor de referencia utilizado para interpretar la usabilidad general del prototipo.

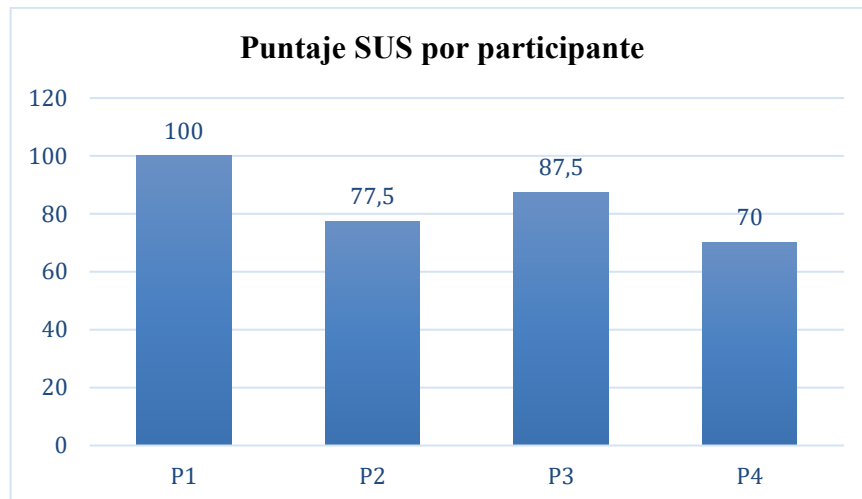


Figura 34. Puntaje SUS obtenido por participante frente al valor de referencia.

El puntaje promedio obtenido fue de 83,75 puntos sobre 100. Este resultado se encuentra por encima del valor de referencia de 68 puntos señalado para la interpretación general de la escala SUS, por lo que la percepción de usabilidad del dashboard puede considerarse favorable. Además, todos los participantes evaluados alcanzaron puntajes iguales o superiores a dicho valor de referencia.

En términos prácticos, el resultado indica que los usuarios percibieron el sistema como comprensible, útil y relativamente fácil de utilizar. Esto es importante para el proyecto, debido a que el dashboard está orientado a apoyar el registro de pacientes, la generación de predicciones y la revisión de información clínica dentro del proceso de atención veterinaria.

A pesar del resultado positivo, la validación debe considerarse como una evaluación inicial, ya que el número de respuestas analizadas fue reducido. Por ello, se recomienda aplicar la encuesta a más usuarios de la clínica y complementar el SUS con observación directa del uso del sistema, tiempos de ejecución y comentarios cualitativos del personal veterinario.

5.3.9. Beneficios esperados para la atención veterinaria y los propietarios

La propuesta de mejora aporta beneficios tanto para la clínica como para los propietarios de los pacientes. Al contar con un registro más ordenado y una herramienta de apoyo predictivo, el médico veterinario dispone de información complementaria para orientar su análisis clínico. Esto puede facilitar la revisión de enfermedades frecuentes, fortalecer el seguimiento del paciente y mejorar la explicación del caso al propietario.

Entre los principales beneficios esperados se encuentran una mejor organización de la

información clínica, la reducción de registros incompletos, el aprovechamiento de datos históricos, la identificación de patrones de enfermedad y el apoyo a la orientación diagnóstica. Además, el uso del dashboard permitiría visualizar con mayor claridad la demanda clínica, las enfermedades más frecuentes y el comportamiento general de los casos atendidos.

En síntesis, la propuesta de mejora integra el modelo predictivo como una herramienta complementaria dentro del proceso de atención veterinaria. Su aplicación futura permitiría fortalecer la gestión de la información clínica en SIRA PETS, apoyar el trabajo del médico veterinario y contribuir a una atención más organizada, trazable y orientada al uso inteligente de los datos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- El diagnóstico del proceso actual de atención veterinaria en SIRA PETS permitió conocer cómo se genera, registra y utiliza la información clínica durante la atención de pacientes caninos. Mediante la revisión documental, la depuración de la base de datos, el análisis ABC, el mapa de procesos y el diagrama de flujo, se evidenció que la clínica cuenta con un proceso de atención definido; sin embargo, también se identificó la necesidad de fortalecer la estandarización del registro clínico y el aprovechamiento de los datos históricos. La selección de las siete enfermedades de mayor incidencia permitió delimitar el alcance del estudio y trabajar con una matriz más consistente para el desarrollo del modelo predictivo.
- La implementación y comparación de algoritmos de aprendizaje automático permitió identificar el modelo con mejor desempeño para la predicción de enfermedades caninas. Se evaluaron cuatro modelos de clasificación supervisada: Árbol de Decisión/J48, Random Forest, Naive Bayes y SVM RBF, mediante métricas como exactitud, precisión, sensibilidad, especificidad, F1-score y AUC-ROC. De acuerdo con los resultados obtenidos, Random Forest presentó el mejor rendimiento general, con una exactitud de 0,9368 y un F1-score ponderado de 0,9328, por lo que fue seleccionado como el modelo más adecuado para apoyar la orientación diagnóstica en la clínica veterinaria SIRA PETS.
- La mejora planteada para el proceso de atención veterinaria permitió integrar los resultados del modelo predictivo como una herramienta de apoyo dentro del flujo clínico de SIRA

PETS. El proceso propuesto incorpora el registro estandarizado de síntomas y signos clínicos, el procesamiento de la información mediante el modelo, la generación de una enfermedad probable y la revisión del resultado por parte del médico veterinario. De esta manera, se fortalece la organización de la información, se mejora la trazabilidad de los datos clínicos y se plantea una alternativa tecnológica que complementa el criterio profesional sin reemplazarlo.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener un proceso permanente de estandarización y actualización de los registros clínicos en SIRA PETS, considerando campos obligatorios como edad, peso, raza, sexo, síntomas, signos clínicos, diagnóstico final y tratamiento. Esto permitirá mejorar la calidad de la información, reducir datos incompletos y facilitar futuros análisis basados en aprendizaje automático.
- Se recomienda validar el modelo Random Forest con nuevos casos clínicos y con el criterio del médico veterinario, comparando la enfermedad predicha con el diagnóstico final. Además, se sugiere actualizar periódicamente la base de datos para que el modelo pueda mejorar su capacidad predictiva y adaptarse a la realidad clínica de la veterinaria.
- Se recomienda implementar progresivamente la propuesta de mejora mediante la ficha clínica estandarizada y el dashboard de apoyo, manteniéndolos como herramientas complementarias al criterio veterinario. Además, se recomienda capacitar al personal utilizando el manual de usuario desarrollado para facilitar el correcto uso del sistema.

6.3. LIMITACIONES DEL PROTOTIPO WEB PROPUESTO

- El prototipo web desarrollado representa una primera versión de apoyo para el proceso de atención veterinaria. Por esta razón, no debe entenderse como un sistema clínico definitivo, sino como una herramienta funcional que permite mostrar cómo el modelo predictivo podría integrarse al trabajo diario de SIRA PETS.
- Una de sus principales limitaciones es que su funcionamiento depende de la calidad de la información ingresada. Si los datos del paciente, signos o síntomas se registran de forma incompleta o incorrecta, la predicción puede verse afectada. Por ello, es importante que la información sea registrada de manera ordenada y que el médico veterinario revise siempre los resultados generados.

- También se debe considerar que el prototipo solo trabaja con las enfermedades incluidas en el modelo entrenado. Esto significa que no identifica todas las patologías veterinarias posibles, sino únicamente aquellas que formaron parte del estudio. Por tanto, la predicción debe utilizarse como una orientación inicial y no como un diagnóstico definitivo.
- Finalmente, al tratarse de una propuesta inicial, el prototipo aún no cuenta con una implementación completa en producción ni con una conexión directa a una base clínica institucional. Para su uso futuro, sería necesario realizar más pruebas con usuarios reales, fortalecer la seguridad, actualizar periódicamente el modelo y evaluar su desempeño con nuevos casos clínicos.

7. REFERENCIAS

- [1] F. Walsh, «Human-Animal Bonds II: The Role of Pets in Family Systems and Family Therapy», *Family Process*, vol. 48, n.º 4, pp. 481-499, dic. 2009, doi: 10.1111/j.1545-5300.2009.01297.x.
- [2] R. P. Timmins, «The Contribution of Animals to Human Well-Being: A Veterinary Family Practice Perspective», *Journal of Veterinary Medical Education*, vol. 35, n.º 4, pp. 540-544, dic. 2008, doi: 10.3138/jvme.35.4.540.
- [3] M. Heinlein, «Ethical considerations of artificial intelligence in veterinary medicine decision-making», *Front. Vet. Sci.*, vol. 13, p. 1780868, feb. 2026, doi: 10.3389/fvets.2026.1780868.
- [4] M. M. Ahsan y Z. Siddique, «Industry 4.0 in Healthcare: A systematic review», *International Journal of Information Management Data Insights*, vol. 2, n.º 1, p. 100079, abr. 2022, doi: 10.1016/j.jjime.2022.100079.
- [5] A. Rajkomar, J. Dean, y I. Kohane, «Machine Learning in Medicine», *N Engl J Med*, vol. 380, n.º 14, pp. 1347-1358, abr. 2019, doi: 10.1056/NEJMra1814259.
- [6] M. R. Boguslav *et al.*, «Fine-tuning foundational models to code diagnoses from veterinary health records», *PLOS Digit Health*, vol. 5, n.º 2, p. e0001147, feb. 2026, doi: 10.1371/journal.pdig.0001147.
- [7] N. Janke, J. B. Coe, T. M. Bernardo, C. E. Dewey, y E. A. Stone, «Pet owners' and veterinarians' perceptions of information exchange and clinical decision-making in

- companion animal practice», *PLoS ONE*, vol. 16, n.º 2, p. e0245632, feb. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0245632.
- [8] A. Cedeno Ochoa, A. Catuto Murillo, y J. Rodas-Silva, «El uso de aplicaciones Web para la Gestión de clínicas veterinarias y su incidencia en la mejora de procesos administrativos», *Ecuad. Sci. J*, vol. 5, n.º 4, pp. 109-120, dic. 2021, doi: 10.46480/esj.5.4.174.
- [9] L. Albergante, C. O'Flynn, y G. De Meyer, «Artificial intelligence is beginning to create value for selected small animal veterinary applications while remaining immature for others», *javma*, vol. 263, n.º 3, pp. 388-394, mar. 2025, doi: 10.2460/javma.24.09.0617.
- [10] W. Luo *et al.*, «Guidelines for Developing and Reporting Machine Learning Predictive Models in Biomedical Research: A Multidisciplinary View», *J Med Internet Res*, vol. 18, n.º 12, p. e323, dic. 2016, doi: 10.2196/jmir.5870.
- [11] K. X. Galarza Medina, K. Maldonado Coronel, y M. S. Herrera Guanopatin, «Beneficios y Riesgos de la Implementación de Inteligencia Artificial en los Procesos de Diagnóstico Médico en el Ecuador», *Ciencia Latina*, vol. 7, n.º 6, pp. 7276-7299, ene. 2024, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i6.9274.
- [12] A. Aguilar-Serrano, J. Ávila-Villaprado, M. Pinta, y B. Mazon-Olivo, «A Big Data Analytics Framework with Interactive Dashboards for Decision-Support in Ecuador's Agricultural Sector», *Digital*, vol. 6, n.º 3, p. 55, jul. 2026, doi: 10.3390/digital6030055.
- [13] S. Secinaro, D. Calandra, A. Secinaro, V. Muthurangu, y P. Biancone, «The role of artificial intelligence in healthcare: a structured literature review», *BMC Med Inform Decis Mak*, vol. 21, n.º 1, p. 125, dic. 2021, doi: 10.1186/s12911-021-01488-9.
- [14] E. J. Topol, «High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence», *Nat Med*, vol. 25, n.º 1, pp. 44-56, ene. 2019, doi: 10.1038/s41591-018-0300-7.
- [15] M. T. Ramakrishna, V. Kumar, V. D. Kumar, O. Geman, M. Margala, y Guduri, «The stratified K-folds cross-validation and class-balancing methods with high-performance ensemble classifiers for breast cancer classification», *Healthcare Analytics*, vol. 4, p. 100247, dic. 2023, doi: 10.1016/j.health.2023.100247.
- [16] X. Wu *et al.*, «Top 10 algorithms in data mining», *Knowl Inf Syst*, vol. 14, n.º 1, pp. 1-37, ene. 2008, doi: 10.1007/s10115-007-0114-2.
- [17] L. Breiman, «Random Forests», *Machine Learning*, vol. 45, n.º 1, pp. 5-32, oct. 2001, doi: 10.1023/A:1010933404324.

- [18] H. Zhang, L. Jiang, y L. Yu, «Attribute and instance weighted naive Bayes», *Pattern Recognition*, vol. 111, p. 107674, mar. 2021, doi: 10.1016/j.patcog.2020.107674.
- [19] C.-C. Chang y C.-J. Lin, «LIBSVM: A library for support vector machines», *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, vol. 2, n.º 3, pp. 1-27, abr. 2011, doi: 10.1145/1961189.1961199.
- [20] A. Tharwat, «Classification assessment methods», *ACI*, vol. 17, n.º 1, pp. 168-192, ene. 2021, doi: 10.1016/j.aci.2018.08.003.
- [21] A. E. Lewis *et al.*, «Electronic health record data quality assessment and tools: a systematic review», *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 30, n.º 10, pp. 1730-1740, sep. 2023, doi: 10.1093/jamia/ocad120.
- [22] S. Kapoor *et al.*, «REFORMS: Consensus-based Recommendations for Machine-learning-based Science», *Sci. Adv.*, vol. 10, n.º 18, p. eadk3452, may 2024, doi: 10.1126/sciadv.adk3452.
- [23] S. Nandi y M. Kumar, «Canine Parvovirus: Current Perspective», *Indian J. Virol.*, vol. 21, n.º 1, pp. 31-44, jun. 2010, doi: 10.1007/s13337-010-0007-y.
- [24] K. L. Reagan y J. E. Sykes, «Canine Infectious Respiratory Disease», *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, vol. 50, n.º 2, pp. 405-418, mar. 2020, doi: 10.1016/j.cvsm.2019.10.009.
- [25] O. V. Carvalho *et al.*, «Immunopathogenic and Neurological Mechanisms of Canine Distemper Virus», *Advances in Virology*, vol. 2012, pp. 1-10, 2012, doi: 10.1155/2012/163860.
- [26] D. Tlapa *et al.*, «Effects of Lean Healthcare on Patient Flow: A Systematic Review», *Value in Health*, vol. 23, n.º 2, pp. 260-273, feb. 2020, doi: 10.1016/j.jval.2019.11.002.
- [27] Asamblea Nacional del Ecuador, *Ley Orgánica de Protección de Datos Personales*. Accedido: 26 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.asambleanacional.gob.ec/es/multimedios-legislativos/63464-ley-organica-de-proteccion-de-datos>
- [28] C. Manterola, G. Quiroz, P. Salazar, y N. García, «Metodología de los tipos y diseños de estudio más frecuentemente utilizados en investigación clínica», *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 30, n.º 1, pp. 36-49, ene. 2019, doi: 10.1016/j.rmcl.2018.11.005.
- [29] S. Kheybari, S. A. Naji, F. M. Rezaie, y R. Salehpour, «ABC classification according to Pareto's principle: a hybrid methodology», *OPSEARCH*, vol. 56, n.º 2, pp. 539-562, jun. 2019, doi: 10.1007/s12597-019-00365-4.

- [30] F. Pedregosa *et al.*, «Scikit-learn: Machine Learning in Python», 2012, doi: 10.48550/ARXIV.1201.0490.
- [31] S. Szeghalmy y A. Fazekas, «A Comparative Study of the Use of Stratified Cross-Validation and Distribution-Balanced Stratified Cross-Validation in Imbalanced Learning», *Sensors*, vol. 23, n.º 4, p. 2333, feb. 2023, doi: 10.3390/s23042333.
- [32] D. Wilimitis y C. G. Walsh, «Practical Considerations and Applied Examples of Cross-Validation for Model Development and Evaluation in Health Care: Tutorial», *JMIR AI*, vol. 2, p. e49023, dic. 2023, doi: 10.2196/49023.
- [33] T. M. Trebble, N. Hansi, T. Hydes, M. A. Smith, y M. Baker, «Process mapping the patient journey: an introduction», *BMJ*, vol. 341, n.º aug13 1, pp. c4078-c4078, ago. 2010, doi: 10.1136/bmj.c4078.
- [34] J. M. Caro Teller *et al.*, «Implementación Lean Six Sigma en la mejora del circuito de dispensación de medicación», *Journal of Healthcare Quality Research*, vol. 35, n.º 6, pp. 364-371, nov. 2020, doi: 10.1016/j.jhqr.2020.04.005.
- [35] J. R. Lewis, «The System Usability Scale: Past, Present, and Future», *International Journal of Human–Computer Interaction*, vol. 34, n.º 7, pp. 577-590, jul. 2018, doi: 10.1080/10447318.2018.1455307.
- [36] M. Hyzy *et al.*, «System Usability Scale Benchmarking for Digital Health Apps: Meta-analysis», *JMIR Mhealth Uhealth*, vol. 10, n.º 8, p. e37290, ago. 2022, doi: 10.2196/37290.

8. ANEXOS

Anexo A. Formato para el levantamiento de procesos

<i>LOGO DE LA EMPRESA</i>		Proceso	
		Código	
Objetivo			
Entrada			
Recursos			
Salida			
N°	Actividad	Descripción	
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Anexo B. Ficha clínica estandarizada propuesta



Código del paciente *	Fecha de atención *
_____	____ / ____ / ____
Hora	N.º de historia clínica
_____	_____

FICHA CLÍNICA ESTANDARIZADA

Registro de nuevos pacientes y apoyo al modelo predictivo

1. DATOS DEL PROPIETARIO

Nombre completo *	Cédula / identificación	Teléfono de contacto *
_____	_____ _____ _____	_____ _____
Correo electrónico	Dirección	
_____	_____	
Contacto alternativo / parentesco		

2. DATOS DEL PACIENTE

Nombre del paciente *	Especie *	Raza *	Edad *
_____	Canino	_____	_____
Sexo *	Peso *	Color / señas particulares	Estado reproductivo
☐ Macho ☐ Hembra	_____ kg	_____	☐ Entero ☐ Esterilizado
Antecedentes relevantes			
Vacunas, desparasitación, enfermedades previas, alergias o medicación actual.			

3. MOTIVO DE CONSULTA

Razón principal por la que acude el paciente: *

4. SÍNTOMAS PRINCIPALES REPORTADOS POR EL PROPIETARIO

☐ Vómito	☐ Diarrea	☐ Fiebre referida
☐ Tos	☐ Estornudos	☐ Secreción nasal
☐ Secreción ocular	☐ Dificultad respiratoria	☐ Picazón
☐ Caída de pelo	☐ Lesiones cutáneas	☐ Dolor abdominal
☐ Decaimiento	☐ Pérdida de apetito	☐ Pérdida de peso
☐ Poliuria	☐ Polidipsia	☐ Cojera
☐ Convulsiones	☐ Sangrado	☐ Otro: _____

Inicio, duración, frecuencia y evolución de los síntomas: *

5. SIGNOS CLÍNICOS Y HALLAZGOS DEL VETERINARIO

Temperatura _____ °C	Frecuencia cardiaca _____ lpm	Frecuencia respiratoria _____ rpm	Mucosas _____	Estado de hidratación _____
Hallazgos observados durante el examen clínico *				



Código del paciente *	Fecha de atención *
_____	____ / ____ / ____
Hora	N.º de historia clínica
_____	_____

FICHA CLÍNICA ESTANDARIZADA

Registro de nuevos pacientes y apoyo al modelo predictivo

6. RESULTADO DEL MODELO PREDICTIVO (opcional)

Enfermedad probable sugerida _____	Nivel de confianza _____ %	Fecha y hora de ejecución _____	Versión del modelo _____
---------------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	-----------------------------

Nota: el resultado es una orientación preliminar y no reemplaza la evaluación ni el diagnóstico del médico veterinario.

7. DIAGNÓSTICO FINAL Y PRUEBAS COMPLEMENTARIAS

Diagnóstico final confirmado *	Diagnóstico diferencial
_____	_____
Pruebas complementarias solicitadas ☐ Hemograma ☐ Bioquímica ☐ Coprológico ☐ Test rápido ☐ Imagen ☐ Otra _____	Resultados relevantes _____ _____
Fundamento clínico del diagnóstico _____ _____	

8. TRATAMIENTO E INDICACIONES

☐ Antibiótico	☐ Antiinflamatorio	☐ Antiparasitario	☐ Gastroprotector
☐ Fluidoterapia	☐ Hospitalización	☐ Procedimiento	☐ Otro: _____

Medicamento / producto	Dosis	Vía	Frecuencia	Duración

Procedimientos realizados

Indicaciones para el hogar y fecha de control *

9. OBSERVACIONES

10. RESPONSABLES Y FIRMAS

Médico veterinario Nombre y registro profesional	Firma del médico veterinario	Firma del propietario / responsable
Fecha: ____ / ____ / ____	Fecha: ____ / ____ / ____	Fecha: ____ / ____ / ____

* Campos obligatorios. La información registrada debe corresponder a la atención clínica realizada.

Anexo C. Encuesta SUS aplicada para validar la usabilidad del prototipo web

Encuesta SUS - Evaluación de usabilidad del prototipo web de SIRA PETS

El presente cuestionario tiene como finalidad evaluar la usabilidad del prototipo web desarrollado como herramienta de apoyo para la predicción de enfermedades caninas en la clínica veterinaria SIRA PETS. Responda según su experiencia después de utilizar el sistema. Marque el grado de acuerdo con cada afirmación, donde 1 significa "Totalmente en desacuerdo" y 5 significa "Totalmente de acuerdo".

** Indica que la pregunta es obligatoria*

1. 1. Creo que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Totalmente en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Neutro
- ☐ De acuerdo
- ☐ Totalmente de acuerdo

2. 2. Encontré el sistema innecesariamente complejo *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Totalmente en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Neutro
- ☐ De acuerdo
- ☐ Totalmente de acuerdo

3. 3. Pensé que el sistema era fácil de usar *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Totalmente en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Neutro
- ☐ De acuerdo
- ☐ Totalmente de acuerdo

4. 4. Creo que necesitaría el apoyo de un técnico para poder utilizar este sistema *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Totalmente en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Neutro
- ☐ De acuerdo
- ☐ Totalmente de acuerdo

5. 5. Encontré que las diversas funciones de este sistema estaban bien integradas *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Totalmente en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Neutro
- ☐ De acuerdo
- ☐ Totalmente de acuerdo

6. 6. Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Totalmente en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Neutro
- ☐ De acuerdo
- ☐ Totalmente de acuerdo

7. 7. Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a utilizar este sistema muy rápidamente *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Totalmente en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Neutro
- ☐ De acuerdo
- ☐ Totalmente de acuerdo

8. 8. Encontré el sistema muy complicado de usar *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Totalmente en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Neutro
- ☐ De acuerdo
- ☐ Totalmente de acuerdo

9. 9. Me sentí muy seguro usando el sistema *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Totalmente en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Neutro
- ☐ De acuerdo
- ☐ Totalmente de acuerdo

10. 10. Necesitaba aprender muchas cosas antes de empezar con este sistema *

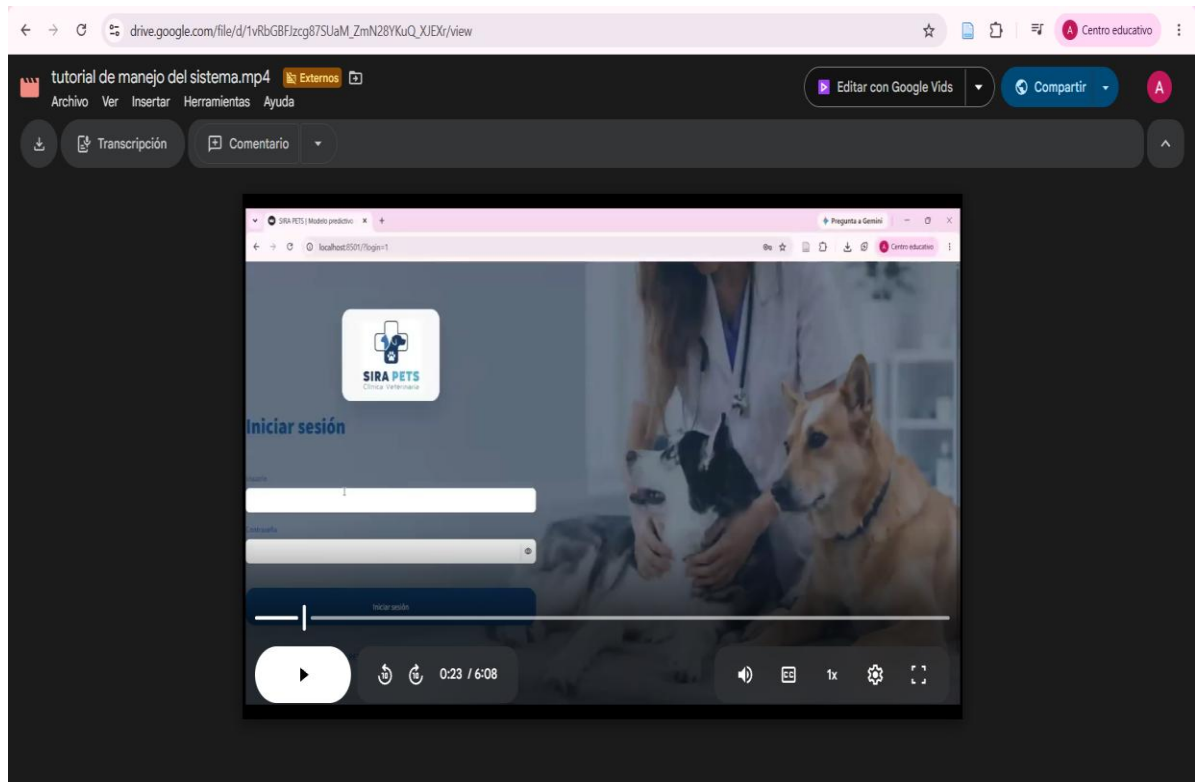
Marca solo un óvalo.

- ☐ Totalmente en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Neutro
- ☐ De acuerdo
- ☐ Totalmente de acuerdo

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Anexo D. Manual de usuario del sistema inteligente de apoyo veterinario SIRA PETS





AVAL DE LA EMPRESA

Latacunga, 7 de agosto del 2026

Lic. Karina Aguirre
Administradora

Presente.

En calidad de administradora de la Clínica Veterinaria SIRAVET S.A.S, me permito avalar que el Proyecto de Investigación con el título: **“DISEÑO DE UN MODELO INTELIGENTE BASADO EN APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DE ENFERMEDADES Y MEJORA DEL PROCESO DE ATENCIÓN EN LA CLÍNICA VETERINARIA SIRA PETS”** de autoría de los postulantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi: **Chiluisa Gutiérrez Bryan Alexander** con cédula de ciudadanía **0503735763** y **Perdomo Unaicho Ana Gabriela** con cédula de ciudadanía **0504747973**, de la carrera de Ingeniería Industrial, cumple con los requerimientos metodológicos y han entregado los resultados satisfactoriamente, tras finalizar e implementar el sistema, el cual ha contribuido efectivamente a la mejora del proceso de atención en nuestra clínica.

Atentamente,



Lic. Karina Magalón Aguirre Arroba
Administradora de la clínica SIRAVET
S.A.S. CC: 1719696062

CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: "Diseño de un modelo inteligente basado en aprendizaje automático para la predicción de enfermedades y mejora del proceso de atención en la clínica veterinaria SIRA PETS", de Chiluisa Gutiérrez Bryan Alexander y Perdomo Unaicho Ana Gabriela, de la carrera de Ingeniería Industrial, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 5 %, y 0 % de IA, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.



Página 2 de 120 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3626916716

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 4% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)



Página 2 de 116 - Descripción general de la escritura con IA

Identificador de la entrega trn:oid::1:3626916716

*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, 13 de agosto de 2026

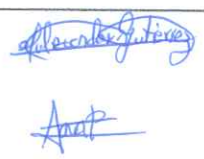
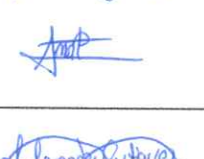
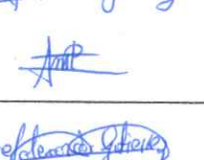
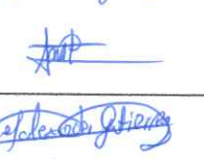
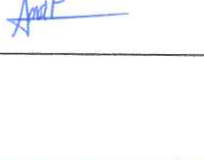
Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino MsC.
C.C.: 1804710463
TUTOR

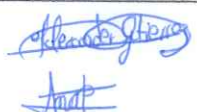
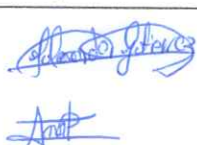
REGISTRO DE ASISTENCIA SEMANAL A TUTORÍAS

Título del proyecto de titulación: Diseño de un modelo inteligente basado en aprendizaje automático para la predicción de enfermedades y mejora del proceso de atención en la clínica veterinaria SIRA PETS

Estudiante: Bryan Alexande Chiluisa Gutierrez – Ana Gabriela Perdomo Unaicho **Cédula:** 0503735763 - 0504747973

Semana	Fecha	Hora	Actividad	Firma Estudiante	Observaciones
2	24/04/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión del tema, título, problema y objetivos de investigación	 	Se revisó la coherencia del tema y los objetivos
3	28/04/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión de la justificación y estructura general del documento	 	Se sugirieron ajustes en la estructura
4	05/05/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión del marco teórico y de los antecedentes investigativos	 	Se evidenció avance en la fundamentación teórica
5	12/05/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión de bases conceptuales y sustento bibliográfico del estudio	 	Se recomendó fortalecer el sustento bibliográfico
6	19/05/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión del diseño metodológico de la investigación	 	Se revisó la metodología planteada

7	26/05/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión de población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos		Se ajustaron aspectos metodológicos
8	02/06/2026	9:00 – 10:00 am	Seguimiento al avance del Desarrollo de la propuesta tecnológica		Se verificó coherencia con los objetivos
9	09/06/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión del diseño y funcionamiento del prototipo desarrollado		Se evidenció avance a la propuesta
10	16/06/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión del avance del Sistema y su articulación con la mejora del proceso de atención		Se revisó el funcionamiento del sistema
11	23/06/2026	9:00 – 10:00 am	Verificación del funcionamiento del modelo predictivo en relación con los objetivos del estudio		Se verificó avance del sistema
12	30/06/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión de resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento del Sistema predictivo		Se constató su relación con los objetivos
13	07/07/2026	9:00 – 10:00 am	Seguimiento a las observaciones técnicas realizadas durante la validación		Se revisaron los resultados de las pruebas

			del Sistema y propuesta de mejora en la atención		
14	14/07/2026	9:00 – 10:00 am	Correcciones de redacción, formato, citas, referencias y anexos		Se recomendaron correcciones de forma
15	21/07/2026	9:00 – 10:00 am	Elaboración de conclusiones y recomendaciones		Correcciones de forma y estilo
16	28/07/2026	9:00 – 10:00 am	Revisión integral del documento final y del sistema previo a la entrega o sustentación		Se evidenció avance general favorable

Porcentaje Total de Asistencia a tutorías	100%
--	------



Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino MsC

TUTOR