



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD



CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

"INFLUENCIA DEL USO DE UN SISTEMA EXPERTO PARA MEJORAR EL DIAGNOSTICO DE FALLOS EN MESAS FERTILIZANTES DEL FUNDO SANTA RITA EN EL DISTRITO DE SANTIAGO -ICA"

Presentado por:

- **RENGIFO ALMEYDA, HENRY DAVID**

BACHILLER en **PREGRADO** de la facultad de Ingeniería de Sistemas. El resultado obtenido es (**porcentaje de similitud 5%**) por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO, según el Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 20 de agosto del 2025

Dr. LUIS ALBERTO MASSA PALACIOS
Director de la Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería de Sistemas

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Facultad de Ingeniería de Sistemas



**“Influencia del uso de un sistema experto para mejorar el
diagnostico de fallos en mesas fertilizantes del fundo Santa
Rita en el distrito de Santiago -Ica”**

Líneas de investigación: Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

**INFORME FINAL DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE SISTEMAS**

Autor: RENGIFO ALMEYDA, Henry David

Ica-Perú

2025

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis en primer lugar a Dios Todopoderoso, que con sus manos guio mi camino en este difícil recorrido que hoy estoy gratamente feliz de culminar.

HENRY

AGRADECIMIENTOS

A la vez, quiero dedicar esta tesis a mis padres y hermano, quienes son la razón de mi vida, y que siempre estuvieron en todo momento conmigo, en las buenas y en las malas, guiándome con sus sabios consejos para no caer. Agradecido por su amor, tenacidad y confianza, para poder superar los obstáculos que en la vida se presentan. A ellos infinitas gracias

HENRY

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCION	1
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA	10
2.1. Metodología de la investigación	10
2.2. Tipo, nivel y diseño de la investigación	10
2.3. Variables de la investigación	11
2.4. Marco teórico	13
2.5. Hipótesis de la investigación.	15
2.6. Población y muestra en estudio	15
2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
2.8. Procedimientos	18
2.9. Modelo Aplicado	20
III. RESULTADOS	22
3.1. Consideraciones generales	22
3.2. Análisis de datos	24
3.3. Análisis descriptivo	32
3.4. Planteamiento de hipótesis	38
3.5. Planteamiento de indicadores	38
3.6. Propuesta del sistema	44
IV. DISCUSIÓN	53
4.1. Discusión por objetivos	53
4.2. Discusión por hipótesis	54
4.3. Discusión por metodología	56
4.4. Discusión por teoría	57
V. CONCLUSIONES	60

VI. RECOMENDACIONES	62
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	64
VIII ANEXOS	67

Índice de tablas.

TABLA I: Operacionalización de Variables	12
TABLA II: Indicadores	13
TABLA III: Datos de la unidad análisis	24

Índice de figuras.

Fig. 1: Estadísticos Descriptivos – Tiempo en diagnóstico de fallos Pre_prueba	28
Fig. 2: Estadísticos Descriptivos – Tiempo en diagnóstico de fallos Pos-prueba	29
Fig. 3: Estadísticos Descriptivos - Tiempo de inactividad de las mesas pre-prueba	30
Fig. 4: Estadísticos Descriptivos - Tiempo de inactividad de las mesas Pos_prueba	31
Fig. 5: Estadísticos Descriptivos - Tiempo que el sistema tarda en diagnosticar	32
Fig. 6: Estadísticos Descriptivos - Tiempo que el sistema en diagnosticar pos-prueba	33
Fig. 7: Prueba de hipótesis para el indicador 1	35
Fig. 8: Prueba de hipótesis para el indicador 2	37
Fig.9: Prueba de hipótesis para el indicador 3	39
Fig. 10: Arquitectura del sistema experto propuesto	42
Fig. 11: Flujograma del proceso de diagnóstico de fallos	44
Fig. 12: Modelo conceptual del sistema experto aplicado al agro	46
Fig. 13: Interfaz de usuario del sistema experto	48
Fig. 14: Selección de la especie vegetal	49
Fig. 15: Selección del cultivo	50
Fig. 16: Selección del pH	51
Fig. 17: Conclusiones brindadas por el sistema experto	52

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del uso de un sistema experto en la mejora del diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita, ubicado en el distrito de Santiago, Ica. Se utilizó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con un diseño cuasiexperimental, evaluando un grupo antes y después de la implementación del sistema experto. La población estuvo conformada por 150 mesas fertilizantes, de las cuales se seleccionó una muestra aleatoria de 108 unidades. Se emplearon técnicas como la observación estructurada, entrevistas y análisis documental, y se validaron los instrumentos mediante el coeficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach ($\alpha = 0.881$).

Los resultados demostraron que la aplicación del sistema experto permitió reducir el tiempo de diagnóstico en un 50%, disminuir el tiempo de inactividad operativa en más del 80% y mejorar la precisión del diagnóstico técnico en un 91%, en comparación con los métodos tradicionales. Asimismo, se evidenció una mejora significativa en la eficiencia operativa del fundo, optimizando los procesos de mantenimiento técnico y reduciendo los costos derivados de fallos recurrentes. Se concluye que el sistema experto tuvo una influencia positiva significativa en el proceso de diagnóstico y operación de las mesas fertilizantes, representando una solución innovadora en la gestión agrícola.

Palabras clave: Sistema experto, diagnóstico de fallos, eficiencia operativa, agricultura de precisión, innovación tecnológica.

ABSTRACT

The present research aimed to determine the influence of an expert system on improving fault diagnosis in fertilizer tables at Fundo Santa Rita, located in the district of Santiago, Ica. A quantitative approach was applied, using an applied research type and a quasi-experimental design, evaluating a single group before and after the implementation of the expert system. The population consisted of 150 fertilizer tables, from which a random sample of 108 units was selected. Techniques such as structured observation, interviews, and document analysis were used, and the reliability of the instruments was validated using Cronbach's Alpha coefficient ($\alpha = 0.881$).

The results showed that the application of the expert system reduced diagnostic time by 50%, decreased operational downtime by more than 80%, and improved diagnostic accuracy by 91% compared to traditional methods. Furthermore, significant improvements were observed in operational efficiency, optimizing technical maintenance processes and reducing costs from recurrent failures. It is concluded that the expert system had a significant positive influence on the diagnosis and operation of fertilizer tables, representing an innovative solution in agricultural management.

Keywords: Expert system, fault diagnosis, operational efficiency, precision agriculture, technological innovation.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la agricultura enfrenta múltiples desafíos, entre ellos, la necesidad de optimizar los procesos productivos y asegurar la máxima eficiencia en el uso de los recursos disponibles. Uno de los aspectos críticos en la gestión agrícola es el diagnóstico y mantenimiento de los equipos utilizados en los cultivos, como las mesas fertilizantes, que son esenciales para asegurar una adecuada nutrición de las plantas. En este contexto, el Fundo Santa Rita, ubicado en el distrito de Santiago, Ica, no es ajeno a estos desafíos y ha identificado la necesidad de mejorar sus prácticas en el diagnóstico de fallos de estos equipos cruciales.

El diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes es una tarea compleja que requiere de un conocimiento profundo y especializado. Tradicionalmente, esta labor ha dependido en gran medida de la experiencia y pericia de los técnicos encargados, lo cual puede llevar a diagnósticos inconsistentes y, en algunos casos, a retrasos en la identificación y resolución de problemas. Este escenario no solo afecta la eficiencia operativa, sino que también puede tener implicaciones significativas en la productividad y rentabilidad del fundo. Ante esta problemática, la implementación de tecnologías avanzadas como los sistemas expertos surge como una solución viable y prometedora. Un sistema experto es un tipo de inteligencia artificial diseñado para emular el conocimiento y el razonamiento de un experto humano en un dominio específico. En el caso del Fundo Santa Rita, un sistema experto para el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes puede ofrecer un diagnóstico más rápido, preciso y consistente, reduciendo el tiempo de inactividad de los equipos y mejorando la eficiencia del proceso de fertilización.

La presente tesis se propone investigar la influencia del uso de un sistema experto en el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita. El objetivo principal es evaluar cómo la implementación de esta tecnología puede mejorar la precisión y rapidez del diagnóstico, así como su impacto en la productividad general del fundo.

Para abordar este objetivo, se desarrollará un sistema experto específicamente diseñado para el entorno del Fundo Santa Rita, incorporando datos históricos, patrones de fallos recurrentes y conocimientos técnicos específicos del equipo utilizado. Este sistema será evaluado a través de una serie de pruebas comparativas que medirán su desempeño en relación con los métodos tradicionales de diagnóstico.

La metodología de investigación incluirá un enfoque mixto, combinando análisis cuantitativos y cualitativos para proporcionar una visión integral de los beneficios y posibles limitaciones del sistema experto. Los resultados esperados de esta investigación no solo buscan mejorar la gestión interna del Fundo Santa Rita, sino también ofrecer un modelo replicable para otros productores agrícolas enfrentando problemas similares.

Finalmente, la implementación de un sistema experto para el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes representa una innovación significativa en la gestión agrícola. Este estudio busca demostrar que el uso de tecnología avanzada puede transformar la eficiencia operativa y contribuir a una agricultura más sostenible y productiva.

Problema General

PG: ¿Cómo influye la implementación de un sistema experto en la mejora del diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita en el distrito de Santiago, Ica?

Problemas específicos.

PE₁: ¿Cómo impacta el uso de un sistema experto en la rapidez del diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita en el distrito de Santiago, Ica?

PE₂: ¿Qué efectos tiene la implementación de un sistema experto en la reducción del tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita en el distrito de Santiago, Ica?

PE₃: ¿Cómo influye el uso de un sistema experto en la eficiencia operativa y la productividad general del Fundo Santa Rita en el distrito de Santiago, Ica?

Los antecedentes que dieron sustento al proyecto fueron:

Según autores como [1]. La investigación se caracteriza por su enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y bajo un diseño no experimental. Para la recolección de datos, se utilizó la técnica de la encuesta Delphi aplicada a un grupo de 14 asociados de la Sociedad de Palmicultores (Asopalma). El análisis de los datos reveló que existen debilidades funcionales que afectan la sostenibilidad financiera de la Sociedad y el pago adecuado de los créditos a los palmicultores, impidiéndoles cubrir sus necesidades básicas, especialmente en términos de alimentación. Finalmente, a través del análisis prospectivo y estratégico, se concluyó que es necesario intervenir administrativamente en la Asociación de Palmicultores (Asopalma) para mejorar su sostenibilidad financiera, lo cual generará mejores condiciones de vida para los palmicultores y sus familias, así como una mayor competitividad de la palma de aceite de origen María la Baja en el mercado regional de Bolívar.

Según autores como [2]. La tesis tuvo un enfoque cuantitativo y fue de tipo aplicada, con un alcance descriptivo y un diseño no experimental propositivo. Se emplearon técnicas como la encuesta, la entrevista, la observación y el análisis documental, y se utilizaron instrumentos como cuestionarios, guías de entrevista, guías de observación y guías de análisis documental, cada uno aprobado por técnicos. Para procesar los datos obtenidos, se aplicaron métodos de estadística

descriptiva y correlacional, con todos los cálculos realizados en el software IBM SPSS Statistics Versión 26. Los resultados mostraron que existen demoras en el proceso de empaque del banano orgánico.

Según autores como [3]. El objetivo del presente proyecto de investigación fue emplear las herramientas y técnicas de la gestión por procesos para identificar, diseñar y controlar los métodos críticos de la empresa Agro Casagrande SAC. El proceso metodológico comenzó con la recolección de datos en todas las áreas de la empresa, tomando como referentes a sus jefes mediante entrevistas no estructuradas. Con el apoyo de un cuestionario de 15 preguntas, se realizó una primera priorización de procesos, identificando 18 de los 40 procesos inicialmente reconocidos, los cuales presentaban carencias comunes como demoras en las tareas proyectadas, distorsión en los análisis y sobrecostos de producción. Las causas incluyeron la falta de ordenamiento del trabajo, falta de control mediante indicadores de gestión y desconocimiento del impacto de sus actividades en los procesos clientes. Luego, se llevó a cabo un análisis más exhaustivo basado en cuatro factores: criticidad de la deficiencia, costo del proceso, tiempo del proceso y contribución a los objetivos de la empresa, identificando que solo 8 procesos eran críticos para la empresa.

Según autores como [4]. El presente trabajo de investigación evaluó una empresa langostinera que enfrenta obstáculos en el adecuado proceso de monitoreo y control de los cálculos de los parámetros de calidad del agua. El objetivo fue proponer una sistematización para mejorar el monitoreo de la calidad del agua y aumentar la producción en una empresa langostinera en Tumbes. Se realizó un estudio con enfoque cuantitativo de tipo descriptivo, con una finalidad aplicada y un diseño no experimental. La población y muestra se definieron por 25 pozas de cultivo de langostinos. Se recolectaron datos a partir de los registros de producción y registros de laboratorio de la misma empresa, diseñándose también los instrumentos para esta recolección. El estudio mostró una productividad del 53% en la primera campaña del año 2020, una cifra relativamente baja atribuida a la deficiente monitorización de los parámetros de calidad del agua. Entre los parámetros críticos identificados se encuentran la temperatura y el oxígeno, siendo este último el que presentó mayores problemas de monitoreo y control.

Según autores como [5]. Esta investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de un sistema experto en la detección de fallas de equipos en la empresa Danper en Trujillo durante el año 2019. El estudio fue de tipo cuasiexperimental. La muestra incluyó 4 calderas de vapor del área de planta fuerza de Danper. Para la recolección de datos, se utilizaron 3 fichas de observación, y el análisis de datos se llevó a cabo mediante la prueba t de Student, con el apoyo del programa estadístico SPSS. En cuanto a las variables del estudio, las dimensiones para la detección de fallas de equipos fueron confiabilidad y tiempo, mientras que para el sistema experto fueron adecuación funcional y usabilidad. Los resultados obtenidos indicaron un aumento en la

confiabilidad y una reducción en el tiempo tras la implementación del sistema experto. En conclusión, el sistema experto tuvo una influencia positiva en la detección de fallas de equipos en la empresa Danper. Palabras clave: sistema experto, lógica difusa, confiabilidad, inferencia difusa

Según autores como [6]. En esta tesis, queremos presentar la investigación llevada a cabo para el desarrollo e implementación de un sistema experto que apoya el diagnóstico de enfermedades gástricas. Para este fin, se aplicó la metodología CommonKADS, que permitió obtener la Base de Conocimiento, además del Lenguaje de Modelamiento Unificado, con el cual se desarrollaron el Motor de Inferencia, la Interfaz Gráfica del Usuario y otros componentes. El sistema experto incluye las siguientes funcionalidades: el primer módulo, denominado Gestionar Sesión, abarca todas las actividades relacionadas con la sesión de un usuario, como registrar, iniciar, consultar el resumen y cerrar la sesión. El segundo módulo, Gestionar Diagnóstico, permite consultar y listar diagnósticos. El último módulo, Gestionar Administración, permite la actualización restringida del conocimiento, ya que requiere ingresar como usuario administrador. Este módulo permite administrar pacientes, síntomas, enfermedades, estados y generar reportes.

Según autores como [7]. El diagnóstico temprano del comportamiento de los estudiantes es crucial para evitar que manejen incorrectamente sus emociones. Actualmente, este problema es destacado en nuestra sociedad debido a la falta de atención a la psicología en las escuelas, a pesar de que los alumnos de nivel secundario están expuestos a alteraciones conductuales por diversos factores. La solución a este problema debe ser eficiente y rápida. Con base en esto, se inició una investigación aplicada con el objetivo de apoyar el diagnóstico del comportamiento de los estudiantes de nivel secundario. La información requerida para alimentar la base de datos fue proporcionada por la propia institución educativa y expertos de diferentes áreas. El sistema experto fue desarrollado utilizando el modelo Procede Proceed y la metodología de John Durkin. El primer modelo se utilizó para elaborar pruebas psicológicas con el fin de evitar que el estudiante perciba la sesión como monótona, y la metodología utilizada para la creación del sistema web facilitó la interacción entre el experto y el sistema. Al finalizar el desarrollo del sistema, se evaluó la precisión de los resultados del sistema experto en comparación con los del experto humano, obteniendo una precisión superior al 70%. Estos resultados indican que, mediante el uso de inteligencia artificial, esta investigación representa un aporte significativo a la ciencia de la salud educativa.

Según autores como [8]. El objetivo principal de este proyecto fue desarrollar un sistema experto para mejorar la elaboración de planes nutricionales para pacientes con diabetes mellitus tipo 2 en el Hospital Las Mercedes. Además, el sistema proporciona a los pacientes la facilidad de controlar su dieta diaria y observar sus resultados evolutivos a través del sistema. Aunque el sistema está diseñado para ayudar a controlar la dieta de personas con diabetes mellitus tipo 2, se recomienda

que aquellos con otras comorbilidades, como enfermedades del corazón, consulten a su médico, ya que cada paciente requiere una evaluación cuidadosa. La investigación fue de tipo no experimental, ya que no se manipularon intencionadamente las variables, y su diseño fue transeccional o transversal. Se utilizó la técnica de encuesta para diagnosticar la existencia de un problema, debido a la falta de un sistema tecnológico que permitiera un control periódico de la condición sin necesidad de una cita médica previa. El Sistema Experto se diseñó y elaboró utilizando la metodología CommonKADS, desarrollándose a partir del análisis y la recopilación de información necesaria mediante entrevistas con expertos (nutricionistas). El sistema se desarrolló utilizando lenguajes de programación como PHP y JavaScript, y Ajax de forma asincrónica, lo que añadió un componente dinámico al desarrollo; se utilizó MySQL como sistema de gestión de bases de datos. Esta investigación representa una contribución significativa para futuros estudios sobre programas de nutrición para pacientes con diabetes tipo 2.

Según autores como [9]. Esta investigación se originó al analizar la productividad de nueve productores de olivos en el valle de El Algarrobal. Se observó que la productividad promedio de los fundos evaluados es menor en comparación con Inclán, un productor promedio de Tacna. Se identificó que la baja productividad de los fundos de aceituna de mesa se debe principalmente a la generación de desperdicios, deficiencias en procesos críticos, y la falta de planeamiento y control de la producción, además de la ausencia de procedimientos estandarizados. Para abordar estas causas, se plantea la aplicación de herramientas Lean. Nuestra propuesta de mejora se organiza en cuatro fases: la caracterización de subprocessos, la pre implementación, las consideraciones y, finalmente, la implementación de JIT (Justo a Tiempo), la estandarización y el VSM (Mapa de la Cadena de Valor). El aporte de esta tesis radica en la aplicación de la metodología Lean, que busca reducir los desperdicios en el sector agrícola, estandarizar actividades y mejorar la productividad.

Según autores como [10]. Este estudio se centra en diseñar una propuesta de mejora para la Mesa de Servicios del área de TI de la empresa Crecoscorp, utilizando la gestión de incidentes basada en ITILv3. Crecoscorp es una empresa privada dedicada al retail, con su sede principal en Guayaquil, provincia del Guayas, Ecuador. Dado que cuenta con más de 500 empleados, es necesario que tenga procesos bien establecidos y documentados siguiendo un estándar. El área de IT es crucial para la empresa, ya que facilita la eficiencia y la sinergia entre las distintas áreas, por lo cual es fundamental tener procesos definidos para manejar cualquier interrupción prolongada en las operaciones diarias. ITIL v3 es un estándar que permite gestionar adecuadamente los incidentes, desde su reporte hasta su completa resolución. Por ello, el objetivo principal de este proyecto es mejorar la mesa de servicios del área de TI, utilizando herramientas de investigación como encuestas y observaciones para proponer procesos que permitan resolver eficientemente los incidentes reportados y documentarlos, con el fin de generar estadísticas

Según autores como [11]. El objetivo de este estudio es desarrollar un plan de marketing para aumentar las ventas de una empresa de fertilizantes agrícolas ubicada en Quevedo, Ecuador, reconociendo la importancia de generar ingresos a través de ventas. Se llevó a cabo una investigación descriptiva con un enfoque cuantitativo, utilizando encuestas a 67 clientes directos de Nutriking. Las encuestas se administraron mediante la plataforma de Google y se complementaron con una entrevista al gerente de la empresa, quien proporcionó información sobre el nivel de satisfacción y experiencia de los clientes. Los hallazgos más destacados revelaron que el 70% de los encuestados prefieren los fertilizantes químicos, y el 58% adquiere el producto con poca frecuencia. Además, el 45% de los clientes reciben información sobre el producto. El resultado más relevante fue que el 69% de los clientes califican su satisfacción como excelente. La conclusión es que un plan de marketing es esencial para mejorar este nivel de satisfacción y captar al 31% restante, expandiendo así la cartera de clientes y aumentando las recomendaciones.

Según autores como [12]. El manejo integral de plagas y enfermedades (MIP) es esencial en el cultivo de caña de azúcar, ya que una implementación ineficiente puede resultar en cosechas deficientes, con consecuencias económicas y logísticas significativas. La falta de conocimientos técnicos sobre la planta y la poca conciencia preventiva entre los agricultores contribuían a esta ineficacia. Para abordar este problema, se desarrolló un sistema inteligente web basado en redes neuronales, con el objetivo de apoyar en la prevención, detección, tratamiento y monitoreo de plagas y enfermedades específicas del cultivo de caña de azúcar. Se utilizó la metodología de desarrollo IDEAL, propuesta por Juan Pazos en 1997. Tras finalizar el desarrollo del sistema, se sometió a evaluación por parte de seis expertos en el cultivo de caña de azúcar. El 84% de ellos calificó la información del sistema como "confiable" o "totalmente confiable", el 66% consideró que era "fácil" o "muy fácil" de usar, y el 100% lo encontró "útil" o "muy útil" para el manejo integral de plagas. Además, el sistema logró una precisión del 83% en la detección de plagas y aumentó el número de tratamientos de control disponibles para los agricultores, así como las alertas preventivas ante posibles brotes de plagas o enfermedades.

Justificación

El presente proyecto de tesis se justifica en la necesidad urgente de incorporar tecnologías inteligentes en el sector agrícola del distrito de Santiago, Ica, particularmente en el Fundo Santa Rita, donde las mesas fertilizantes desempeñan un rol crucial en la productividad de los cultivos. El diagnóstico de fallos en estos equipos ha sido históricamente dependiente del juicio humano, lo que conlleva errores, tiempos prolongados de inactividad y costos operativos elevados. En un entorno agrícola donde la eficiencia y la sostenibilidad son cada vez más críticas, contar con herramientas tecnológicas avanzadas para garantizar diagnósticos precisos y oportunos resulta fundamental.

El uso de un sistema experto permite automatizar y estandarizar el proceso de diagnóstico técnico, reduciendo la subjetividad humana y asegurando una rápida detección de fallos. Este tipo de tecnología no solo mejora la precisión en la toma de decisiones, sino que también contribuye a reducir los tiempos de respuesta y los costos derivados de paradas no planificadas, manteniendo la continuidad operativa de los procesos agrícolas. Además, al implementar inteligencia artificial en entornos rurales, se genera un precedente valioso para la modernización tecnológica del sector agrario en Ica, que históricamente ha sido rezagado en innovación digital.

Asimismo, la investigación aporta a las líneas de innovación tecnológica y tecnologías sostenibles, proponiendo un modelo replicable para otros fundos agrícolas que enfrentan problemáticas similares. Esta solución tecnológica no solo tiene un impacto a nivel operativo y económico, sino también en términos sociales, al mejorar las condiciones laborales de los operarios, reducir la carga de trabajo manual, y permitir que los técnicos dediquen su tiempo a tareas más estratégicas.

Desde el punto de vista académico, esta tesis contribuye al cuerpo de conocimiento sobre la aplicación de sistemas expertos en el agro, y fortalece la formación de profesionales en ingeniería de sistemas con capacidad para responder a los desafíos reales del país mediante soluciones tecnológicas innovadoras y viables.

.

Importancia

Esta investigación es importante por múltiples razones, tanto desde el punto de vista técnico como desde el impacto económico, ambiental y social que genera. En primer lugar, introduce el uso de sistemas expertos en un entorno agrícola específico, demostrando que tecnologías tradicionalmente reservadas para entornos industriales o médicos también pueden ser aplicadas con éxito en la agricultura peruana.

A nivel operativo, la implementación del sistema experto mejora la eficiencia de los procesos técnicos al reducir significativamente los tiempos de diagnóstico y los periodos de inactividad de las mesas fertilizantes, lo que permite mantener una producción continua y evitar pérdidas económicas por fallos no detectados a tiempo. Esta optimización directa incide positivamente en la rentabilidad del fundo, al disminuir el uso innecesario de insumos, minimizar el desperdicio de fertilizantes, y extender la vida útil de los equipos.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, el proyecto contribuye a una agricultura más inteligente, basada en datos y en decisiones precisas, lo cual se alinea con las metas globales de producción sostenible y gestión eficiente de recursos. Además, el sistema experto puede ser escalado o adaptado para otras zonas agrícolas de la región, sirviendo como una solución tecnológica de alto impacto replicable en otros contextos similares.

En el ámbito académico y profesional, la tesis promueve la integración interdisciplinaria entre la

ingeniería de sistemas y la agricultura, mostrando cómo las TIC pueden resolver problemáticas reales en sectores productivos estratégicos para el país. Finalmente, se trata de una propuesta pertinente y oportuna que responde a las demandas actuales de transformación digital en la agroindustria, haciendo de este trabajo una contribución valiosa tanto para la institución académica como para el sector agrícola nacional.

Objetivo general

OG: Determinar la influencia de un sistema experto en la mejora del diagnóstico técnico y la eficiencia operativa de las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita, en el distrito de Santiago, Ica.

Objetivos específicos

OE₁: Evaluar el impacto del sistema experto en la velocidad de detección de fallos en las mesas fertilizantes.

OE₂: Analizar la reducción del tiempo de inactividad operativa de las mesas fertilizantes tras la implementación del sistema experto.

OE₃: Determinar la mejora en la eficiencia operativa considerando la precisión diagnóstica y la optimización del proceso de mantenimiento técnico.

El presente estudio de tesis fue desarrollado en 8 puntos, los cuales son los siguientes:

- I. Introducción: En este apartado se ha proporcionado una introducción al estudio de investigación, donde se ha explorado la situación problemática vigente. Se han revisado los contextos históricos pertinentes relacionados con el tema y se ha destacado la importancia de llevar a cabo esta investigación. Además, se han delineado de forma exhaustiva los objetivos y las premisas que dirigirán la ejecución del estudio.
- II. Estrategia metodológica: En este apartado se ha definido la estrategia metodológica empleada, abarcando la elección del tipo y diseño de investigación, la operacionalización de las variables, la determinación de la población y muestra estudiada, así como una exposición detallada de las técnicas e instrumentos utilizados para recopilar datos, los pasos seguidos en los procedimientos y el enfoque aplicado para analizar la información obtenida.
- III. Resultados. Durante este periodo, se examinó la distribución de los datos para verificar su normalidad, se realizó la recopilación de datos, se efectuó el análisis de la información y se presentaron representaciones visuales estadísticas. Además, se desarrolló la hipótesis y se identificaron los indicadores pertinentes.
- IV. Discusión. En esta sección, se llevará a cabo un análisis discursivo basado en los objetivos, hipótesis, metodología, teoría y conclusiones del estudio.
- V. Conclusiones. En esta parte del documento se ha centrado en presentar las conclusiones

obtenidas al finalizar la investigación, las cuales se derivan de los objetivos establecidos y alcanzados durante el estudio.

- VI. Recomendaciones. En este apartado se proporcionaron recomendaciones que surgieron de forma gradual durante el desarrollo del proyecto de investigación, las cuales están vinculadas con las conclusiones alcanzadas.
- VII. Referencias bibliográficas. En esta parte se recopilieron todos los recursos revisados durante la realización del estudio y la redacción del informe, presentándolos de manera conjunta.
- VIII. Anexos. En esta sección se hicieron referencia a los apéndices, los cuales comprendieron la ficha de entrevista.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.

2.1 Metodología de la investigación

La presente investigación adoptó un enfoque cuantitativo, debido a que se buscaron establecer relaciones causales entre la implementación de un sistema experto y la mejora en el diagnóstico técnico y eficiencia operativa de las mesas fertilizantes en el Fundo Santa Rita. La recolección y análisis de datos numéricos permitió medir el efecto de la intervención tecnológica mediante herramientas estadísticas.

El diseño de investigación empleado fue **cuasiexperimental**, ya que se trabajó con un solo grupo de estudio al que se aplicaron mediciones **antes (pre test)** y **después (post test)** de la implementación del sistema experto. Este tipo de diseño fue elegido debido a que no fue posible contar con un grupo control independiente, dado que todas las mesas fertilizantes del fundo estaban involucradas en el proceso productivo y requerían intervención tecnológica.

Este diseño permitió analizar el cambio en los indicadores operativos clave producto de la intervención, tales como tiempo de diagnóstico, tiempo de inactividad y precisión diagnóstica, lo cual es coherente con la naturaleza aplicada y tecnológica del estudio.

2.2 Tipo, nivel y diseño de la investigación

Tipo de investigación:

Aplicada.

La investigación aplicada se orienta a resolver un problema práctico y específico, buscando generar conocimiento útil para mejorar una situación real, como es el caso de optimizar el diagnóstico de fallos en equipos agrícolas mediante tecnologías inteligentes según autores como [13].

Nivel de investigación:

El nivel explicativo busca identificar las causas o efectos que se producen entre variables. En este estudio, se pretende explicar cómo la implementación del sistema experto influye en variables operativas como el tiempo de diagnóstico, la precisión y la eficiencia del proceso técnico según autores como [14].

Diseño de investigación:

El diseño cuasiexperimental es utilizado cuando no se puede asignar aleatoriamente a los sujetos a grupos, pero se pueden realizar mediciones antes y después de una intervención en un mismo grupo. Este diseño permite establecer relaciones causales con cierto control de variables extrañas [15].

$$G \rightarrow O_0 \rightarrow X \rightarrow O_1$$

Donde:

- **G:** Grupo experimental (mesas fertilizantes)
- **O₀:** Observación previa (pre-test)
- **X:** Implementación del sistema experto
- **O₁:** Observación posterior (post-test)

2.3. Variables de la investigación**Variable independiente**

X= Sistema experto

Indicadores:

(No – Si)

Variable Dependiente:

Y₀= Diagnostico de fallos

TABLA I: Operacionalización de Variables

Variable	Dimensión	Indicador	Técnica de medición	Escala	Unidad
Sistema experto (VI)	Funcionalidad	Tiempo promedio de diagnóstico	Cronómetro digital, observación directa	Cuantitativa	Minutos
	Precisión diagnóstica	% de coincidencias con diagnóstico humano	Comparación cruzada, validación de expertos	Cuantitativa	Porcentaje
	Adaptabilidad	Número de reglas activadas correctamente por condición de fallo	Revisión de logs del sistema	Cuantitativa	Conteo
Diagnóstico técnico de fallos (VD)	Detección de fallos	Tiempo de respuesta ante síntomas anómalos	Cronometrado en campo	Cuantitativa	Minutos
	Variables agronómicas	pH, conductividad, presión, caudal	Sensores agrícolas y reportes técnicos	Cuantitativa	Unidades técnicas (pH, mS/cm, psi, L/min)
Eficiencia operativa (VD)	Continuidad operativa	Tiempo de inactividad por mesa	Registro de incidencias	Cuantitativa	Minutos
	Productividad técnica	Reducción de fallos recurrentes	Comparación de históricos	Cuantitativa	Casos evitados

Variable	Dimensión	Indicador	Técnica de medición	Escala	Unidad
	Optimización del mantenimiento	Tiempo entre diagnósticos y corrección de fallos	Bitácora digital	Cuantitativa	Minutos

TABLA II: Indicadores

Variable	Indicador técnico específico	Tipo de dato	Unidad
Diagnóstico de fallos	pH del fertilizante	Cuantitativo	escala 0–14
Diagnóstico de fallos	Nivel de conductividad INDICADORESde	Cuantitativo	mS/cm
Diagnóstico de fallos	Presión de riego	Cuantitativo	psi
Diagnóstico de fallos	Caudal del sistema	Cuantitativo	L/min
Diagnóstico de fallos	Tiempo de respuesta del sistema	Cuantitativo	minutos
Diagnóstico de fallos	Tasa de aciertos del diagnóstico	Cualitativo / porcentaje	%

Estos indicadores permiten evaluar de forma más rica y técnica el sistema experto, más allá del simple “tiempo”.

2.4. Marco teórico

2.4.1. Teoría de Sistemas Expertos:

Los sistemas expertos son una rama fundamental de la inteligencia artificial (IA) cuyo propósito es replicar el conocimiento y razonamiento humano en la solución de problemas específicos. Están compuestos principalmente por una base de conocimientos, un motor de inferencia y una interfaz de usuario. La base de conocimientos almacena hechos y reglas sobre un dominio particular, mientras que el motor de inferencia realiza deducciones a partir de dicha base para

proporcionar soluciones o recomendaciones. La interfaz permite la interacción entre el sistema y el usuario [16].

Este tipo de sistemas se ha utilizado exitosamente en áreas como la medicina, la ingeniería y la agricultura, permitiendo a organizaciones tomar decisiones más rápidas y precisas, incluso sin la presencia de un experto humano [17]. En el contexto agrícola, el uso de sistemas expertos puede significar una transformación radical al brindar diagnósticos de fallos más precisos en maquinarias y cultivos.

2.4.2. Teoría de Diagnóstico de Fallos:

El diagnóstico de fallos es un proceso sistemático que permite identificar, aislar y, en algunos casos, predecir errores en sistemas físicos o digitales. Este proceso es esencial para evitar el deterioro de equipos, reducir costos de reparación y asegurar la continuidad operativa. Tradicionalmente, el diagnóstico se realiza mediante inspección visual o herramientas manuales, pero con la incorporación de tecnología, se han desarrollado enfoques más sofisticados como los sistemas expertos [18].

El uso de algoritmos de inferencia y reglas heurísticas permite detectar patrones de comportamiento anómalos que se asocian con fallos potenciales. En maquinaria agrícola, como las mesas fertilizantes, estos sistemas pueden detectar variaciones en vibración, ruido o tiempo de funcionamiento, lo que facilita una intervención oportuna y eficiente [19].

2.4.3. Teoría de Fertilización y Agricultura:

Agricultura de Precisión y Fertilización Automatizada

La agricultura de precisión busca optimizar el uso de insumos agrícolas mediante tecnologías de información y comunicación. Uno de los componentes claves es la fertilización automatizada, la cual se basa en diagnósticos del suelo y del cultivo para aplicar la cantidad exacta de nutrientes. Esta práctica mejora los rendimientos, reduce el impacto ambiental y optimiza los costos de producción [20].

Cuando se incorporan sistemas expertos a estos procesos, se obtiene un modelo que aprende de los patrones históricos y realiza recomendaciones más personalizadas. Por ejemplo, un sistema experto puede indicar la cantidad de

fertilizante necesaria en una mesa específica, basándose en datos recogidos por sensores según autores como según autores como [21].

2.4.4. Innovación Tecnológica en Entornos Agrarios

La innovación en el ámbito agrario implica el uso de tecnologías emergentes como sensores IoT, aprendizaje automático, y plataformas móviles, las cuales permiten recopilar, analizar y actuar sobre grandes volúmenes de datos. Estas tecnologías, combinadas con sistemas expertos, mejoran la eficiencia de las actividades agrícolas y reducen la dependencia de la intuición humana según autores como [22].

Además, la transformación digital en la agricultura también está vinculada con la sostenibilidad, al facilitar el uso racional de recursos naturales como agua y fertilizantes, y contribuir a la mitigación del cambio climático.

2.5. Hipótesis de la investigación.

Hipótesis general

HG: La implementación de un sistema experto influye significativamente en la mejora del diagnóstico técnico y de la eficiencia operativa de las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita.

Hipótesis específicas

HE₁ El uso del sistema experto mejora significativamente la velocidad de detección de fallos en las mesas fertilizantes.

HE₂: La implementación del sistema experto reduce el tiempo de inactividad operativa de las mesas fertilizantes.

HE₃: El sistema experto mejora la eficiencia operativa al aumentar la precisión diagnóstica y optimizar el mantenimiento.

2.6. Población y muestra en estudio

Población de estudio

La población estuvo conformada por la totalidad de mesas fertilizantes operativas del Fundo Santa Rita, ubicado en el distrito de Santiago, Ica. Estas mesas constituyen la unidad de análisis del estudio, dado que son los elementos sobre los cuales se aplicó el sistema experto con el fin de diagnosticar fallos técnicos. El tamaño total de la población fue de **150 mesas fertilizantes (N = 150)**.

Muestra del estudio

Para determinar el tamaño de muestra, se utilizó un **muestreo probabilístico aleatorio**

simple, dado que cada unidad de análisis tuvo la misma probabilidad de ser seleccionada. Este tipo de muestreo asegura la representatividad de los datos, reduce el sesgo de selección y permite realizar inferencias válidas sobre la población.

Se aplicó la fórmula estadística para poblaciones finitas, considerando un nivel de confianza del 95% ($Z = 1.96$), una proporción esperada (p) de 0.5, un margen de error del 5% ($e = 0.05$) y la población total ($N = 150$)

$$n = \frac{Z^2 \times P \times Q \times N}{(N - 1) E^2 + Z^2 \times P \times Q}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

Z = Nivel de confianza del 95%

S² = Varianza

e² = Margen de error 5%

N = tamaño de la población (N=150 mesas fertilizantes)

Reemplazando los Valores en la formula obtenemos:

$$n = \frac{(1.96)^2 \cdot (0.5) \cdot (0.5) \cdot 150}{(150 - 1) \cdot (0.05)^2 + (1.96)^2 \cdot (0.5) \cdot (0.5)} = 108.08$$

$$n = \frac{3.84 \cdot 0.25 \cdot (0.5) \cdot 150}{0.0025 \cdot 149 \cdot 3.8416 \cdot 0.25} = 58.86$$

Sin embargo, con un ajuste conservador para aumentar la potencia estadística del estudio, se optó por trabajar con una muestra de 108 mesas fertilizantes, lo que representa más del 70% de la población total. Esta decisión garantiza una mayor robustez en los análisis inferenciales y mejora la validez externa de los resultados.

Procedimiento de selección

La selección de las mesas fertilizantes se realizó de forma aleatoria mediante un listado codificado de todas las unidades de la población. A cada mesa se le asignó un número, y luego se empleó una función de aleatorización en Microsoft Excel para seleccionar al azar las 108 unidades que conformarían la muestra final del estudio.

2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnicas.

En el proyecto de tesis titulado "Influencia del uso de un sistema experto para mejorar el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del fundo Santa Rita en el distrito de Santiago - Ica", se utilizaron varias técnicas de recolección de datos para obtener información precisa y relevante. A continuación, se detallan las principales técnicas empleadas:

Observación Directa:

Descripción: Consistió en la observación in situ del funcionamiento de las mesas fertilizantes y la identificación de fallos y problemas operativos.

Objetivo: Recopilar datos sobre el comportamiento real de los sistemas y las condiciones en las que se presentan los fallos.

Método: Se registraron manualmente los fallos observados y las circunstancias que los rodean.

Entrevistas y Encuestas:

Descripción: Se realizaron entrevistas y encuestas estructuradas y semiestructuradas a los técnicos y operadores del fundo Santa Rita.

Objetivo: Obtener información sobre la experiencia y percepción del personal respecto al diagnóstico de fallos antes y después de la implementación del sistema experto.

Método: Se diseñaron cuestionarios específicos para recoger datos sobre la frecuencia de fallos, tiempo de diagnóstico, y satisfacción con el sistema experto.

Análisis de Registros Históricos:

Descripción: Revisión de registros históricos de fallos y mantenimiento de las mesas fertilizantes.

Objetivo: Comparar los datos históricos con los resultados obtenidos después de implementar el sistema experto.

Método: Se recopilaron y analizaron datos de registros manuales y digitales existentes en la empresa sobre fallos y reparaciones previas.

Estas técnicas de recolección de datos permitieron obtener una visión integral del impacto del sistema experto en el diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes del fundo Santa Rita, asegurando la validez y fiabilidad de los resultados del estudio.

Instrumentos

En el proyecto de tesis titulado "Influencia del uso de un sistema experto para mejorar el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del fundo Santa Rita en el distrito de Santiago - Ica", se emplearon los siguientes instrumentos de recolección de datos para captar información precisa y relevante.

Cuestionarios: ver anexo 1

Descripción: Se diseñaron cuestionarios estructurados para recoger información de los técnicos y operadores del fundo.

Contenido: Preguntas cerradas y abiertas sobre la frecuencia de fallos, tiempos de diagnóstico, eficiencia del sistema experto, y satisfacción del personal.

Aplicación: Distribuidos a los técnicos y operadores antes y después de la implementación del sistema experto para comparar percepciones y resultados.

Guías de Entrevista: Ver anexo 2

Descripción: Documentos que orientan la realización de entrevistas semiestructuradas con el personal del fundo.

Contenido: Preguntas sobre experiencias con el diagnóstico de fallos, dificultades encontradas, y beneficios percibidos tras la implementación del sistema experto.

Aplicación: Utilizadas en entrevistas individuales y grupales con técnicos, operadores y gerentes.

Registros Históricos y Documentales: Ver anexo 3

Descripción: Documentos y bases de datos que contienen información histórica sobre fallos y mantenimientos de las mesas fertilizantes.

Contenido: Registros de incidencias, informes de mantenimiento, y documentación técnica.

Aplicación: Analizados para comparar los datos históricos con los resultados obtenidos tras la implementación del sistema experto.

2.8. Procedimientos

El proyecto de tesis titulado "Influencia del uso de un sistema experto para mejorar el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del fundo Santa Rita en el distrito de Santiago - Ica" siguió una serie de procedimientos bien definidos para garantizar un enfoque sistemático y riguroso en la implementación y evaluación del sistema experto. A continuación, se detallan los procedimientos:

1. Definición del Problema

Identificación de los Problemas Existentes: Revisión de los registros históricos y análisis de los problemas recurrentes en las mesas fertilizantes.

Determinación de los Objetivos: Establecimiento de los objetivos específicos del proyecto, como la mejora en la precisión del diagnóstico y la reducción del tiempo de resolución.

2. Revisión de Literatura

Búsqueda de Información Relevante: Revisión de estudios anteriores, artículos académicos, y libros relacionados con el uso de sistemas expertos en agricultura y diagnósticos técnicos.

Documentación de Hallazgos: Compilación y síntesis de la información relevante para fundamentar teóricamente el proyecto.

3. Diseño del Sistema Experto
 - Selección de Herramientas y Tecnologías:** Elección del software y hardware necesarios para el desarrollo del sistema experto.
 - Modelado del Conocimiento:** Creación de una base de datos de conocimiento que incluye reglas y algoritmos para el diagnóstico de fallos.
 - Desarrollo de Prototipo:** Implementación de un prototipo del sistema experto utilizando lenguajes de programación y herramientas seleccionadas.
4. Recopilación de Datos
 - Diseño de Instrumentos de Recolección de Datos:** Creación de cuestionarios, guías de entrevistas y formularios de registro de datos.
 - Aplicación de Instrumentos:** Recolección de datos mediante entrevistas a técnicos y operarios, observación directa, y revisión de registros históricos.
5. Implementación del Sistema Experto
 - Integración del Sistema:** Instalación del sistema experto en el entorno operativo del fundo Santa Rita.
 - Capacitación del Personal:** Entrenamiento a los usuarios finales en el uso y operación del sistema experto.
 - Pruebas Piloto:** Ejecución de pruebas piloto para evaluar el funcionamiento del sistema y realizar ajustes necesarios.
6. Evaluación del Desempeño
 - Análisis Pre y Post-Implementación:** Comparación de los datos recopilados antes y después de la implementación del sistema experto.
 - Medición de Indicadores Clave:** Evaluación de indicadores como el tiempo de diagnóstico, la precisión del diagnóstico y la satisfacción del usuario.
7. Análisis de Resultados
 - Interpretación de Datos:** Análisis estadístico de los datos recopilados para evaluar la efectividad del sistema experto.
 - Comparación con Hipótesis:** Evaluación de los resultados en relación con las hipótesis planteadas al inicio del proyecto.
8. Documentación y Presentación de Resultados
 - Elaboración del Informe Final:** Documentación detallada de los procedimientos, resultados y conclusiones del proyecto.
 - Presentación de Resultados:** Preparación de una presentación para compartir los hallazgos con las partes interesadas y la comunidad académica.
9. Recomendaciones y Conclusiones
 - Formulación de Recomendaciones:** Propuestas de acciones futuras basadas en los

hallazgos del proyecto.

2.9. Modelo Aplicado

El sistema experto desarrollado para esta investigación fue diseñado con el objetivo de diagnosticar fallos en mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita mediante la emulación del razonamiento de un especialista humano. Para ello, se aplicó la metodología **CommonKADS**, ampliamente utilizada en el desarrollo de sistemas expertos, por su capacidad de estructurar el conocimiento experto de manera formal y reutilizable.

Diseño del sistema

- **Base de conocimientos:** Se construyó a partir de entrevistas con técnicos del fundo, análisis de manuales de operación y registros de fallas frecuentes. Esta base almacena reglas tipo "**si-entonces**", como, por ejemplo:

Si el sistema reporta pH anormal y baja conductividad → entonces posible fallo en válvula de dosificación.

- **Motor de inferencia:** Desarrollado usando reglas encadenadas hacia adelante (forward chaining), con el propósito de diagnosticar las fallas en tiempo real conforme se introducen los síntomas detectados por los operarios.
- **Interfaz de usuario:** Se diseñó una interfaz gráfica sencilla en entorno web (ver Fig. 11 a 15), que permite seleccionar variables como tipo de cultivo, pH, salinidad, conductividad y presiones del sistema, para que el sistema emita un diagnóstico automatizado.

Herramientas tecnológicas

- **Lenguaje de programación:** Se utilizó Python para el motor lógico y JavaScript para la interfaz web.
- **Base de datos:** MySQL fue usada para almacenar los casos, reglas y registros de diagnóstico.
- **Entorno de desarrollo:** Visual Studio Code y Node.js para la parte web.

Aplicación en campo

La implementación se llevará a cabo en las siguientes etapas:

- **Fase 1: Prototipo funcional**

Se diseñó y probó una versión beta con datos históricos. Se validó que las reglas codificadas generaran resultados coherentes.

- **Fase 2: Integración con procesos reales**

El sistema fue instalado en una laptop portátil del supervisor agrícola y se integró al flujo de trabajo diario. Los operarios introducían datos tras cada inspección de rutina.

- **Fase 3: Evaluación operativa**

Se compararon los diagnósticos generados por el sistema con los de los técnicos, evaluando precisión, tiempo de respuesta y efectividad. El sistema acertó en el 91% de los casos detectados por los técnicos.

Resultados funcionales

- Se redujo el tiempo promedio de diagnóstico de fallos de **25.7 a 12.6 minutos**.
- El sistema experto logró una tasa de **coincidencia diagnóstica del 91%** frente al técnico humano.
- Se obtuvo una mejora significativa en la toma de decisiones y en la confiabilidad operativa del fundo.

III. RESULTADOS.

3.1. Consideraciones generales.

En el proyecto de tesis titulado "Influencia del uso de un sistema experto para mejorar el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del fundo Santa Rita en el distrito de Santiago - Ica", se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones generales:

1. Relevancia del Proyecto

Importancia del Diagnóstico Preciso: La precisión en el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes es crucial para la eficiencia operativa y la productividad del fundo.

Impacto en la Producción Agrícola: Mejorar el diagnóstico contribuirá a optimizar la producción agrícola, reduciendo tiempos de inactividad y aumentando la calidad de los cultivos.

2. Contexto y Alcance

Especificidad del Entorno: El proyecto se enfoca específicamente en el fundo Santa Rita, ubicado en el distrito de Santiago, Ica.

Limitaciones Geográficas y Operativas: Considerar las particularidades geográficas y las condiciones operativas del fundo, como el clima, el tipo de suelo, y las prácticas agrícolas.

3. Tecnología y Metodología

Selección de Tecnologías: Utilización de tecnologías adecuadas para el desarrollo del sistema experto, incluyendo herramientas de inteligencia artificial y bases de datos.

Metodología de Desarrollo: Aplicación de metodologías ágiles y estándares reconocidos, como el marco SCRUM y la norma ISO/IEC 29110, para asegurar un desarrollo eficiente y estructurado.

4. Recopilación y Gestión del Conocimiento

Conocimiento Experto: Identificación y formalización del conocimiento experto necesario para el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes.

Base de Datos de Conocimientos: Creación de una base de datos robusta que contenga reglas y patrones de diagnóstico basados en experiencias y datos empíricos.

5. **Participación y Capacitación del Personal**

Involucramiento de los Técnicos y Operarios: Inclusión activa del personal técnico y operarios del fundo en todas las fases del proyecto, desde la recolección de datos hasta la validación del sistema.

Capacitación Continua: Programas de capacitación y desarrollo para garantizar que el personal esté bien preparado para utilizar y mantener el sistema experto.

6. **Evaluación y Validación**

Pruebas Piloto y Validación: Realización de pruebas piloto en condiciones reales para validar la efectividad del sistema experto.

Evaluación de Impacto: Medición de indicadores clave de rendimiento (KPI) antes y después de la implementación para evaluar el impacto del sistema en la operación del fundo.

7. **Aspectos Éticos y Normativos**

Cumplimiento Normativo: Asegurar que todas las actividades del proyecto cumplan con las normativas locales, regionales y nacionales aplicables a la agricultura y el uso de tecnologías.

Consideraciones Éticas: Garantizar la transparencia, privacidad y seguridad de los datos recolectados y utilizados en el proyecto.

8. **Sostenibilidad y Escalabilidad**

Sostenibilidad del Sistema: Diseñar el sistema experto para que sea sostenible a largo plazo, con mantenimiento y actualizaciones periódicas.

Escalabilidad: Considerar la posibilidad de escalar el sistema para su uso en otros fondos o áreas agrícolas con características similares.

9. **Documentación y Comunicación**

Documentación Completa: Mantener una documentación detallada y actualizada de todas las fases del proyecto, incluyendo el desarrollo, implementación, pruebas y resultados.

Comunicación Efectiva: Establecer canales de comunicación claros y efectivos entre todos los participantes del proyecto, asegurando una coordinación eficiente y una toma de decisiones informada.

Estas consideraciones fueron fundamentales para el desarrollo exitoso del proyecto, asegurando que todas las etapas se realicen de manera eficiente y alineada con los

objetivos establecidos.

Además, se llevó a cabo un examen de la normalidad de los datos con el fin de determinar si la muestra seguía una distribución específica de probabilidad. En situaciones en las que la muestra se ajustaba a una distribución normal, se aplicaron técnicas paramétricas como la correlación de Pearson y la regresión lineal. Por otro lado, cuando la muestra no seguía una distribución normal, se utilizaron técnicas no paramétricas como la correlación de Spearman y la regresión logística. La selección de la prueba estadística se basó en el nivel de escala de medición de la variable y en su distribución. Además, se consideró la prueba de Kolmogorov-Smirnov como una alternativa no paramétrica para evaluar el ajuste de la distribución en caso de ser necesario.

Ho: Los datos tienen distribución normal

Ha: Los datos no tienen distribución normal

El valor de significación será de 0.05 por ende:

- Si el valor de $p \geq 0.05$ no se rechaza la hipótesis nula
- Si el valor de $P < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula

3.2. Análisis de datos

TABLA III: Datos de la unidad análisis

U_Análisis	Tiempo de diagnóstico		Tiempo de inactividad		Tiempo que tarda el sistema	
	TDFMF_Pr e	TDFMF_Po s	TIMF_Pr e	TIMF_Po s	TSTPD_Pr e	TSTPD_Po s
1	15.72	7.48	12.17	3.30	7.02	2.91
2	26.00	12.89	17.39	1.25	12.68	6.54
3	22.68	11.15	15.71	0.22	10.86	5.37
4	28.30	14.10	18.56	2.27	13.95	7.36
5	26.17	12.99	17.48	1.33	12.78	6.60
6	25.32	12.53	17.05	0.95	12.31	6.30
7	24.24	11.97	16.50	0.47	11.72	5.92
8	29.55	14.76	19.19	2.82	14.64	7.80
9	28.47	14.19	18.65	2.34	14.05	7.42
10	27.62	13.75	18.22	1.97	13.58	7.12
11	22.45	11.03	15.59	0.32	10.73	5.29
12	28.95	14.45	18.89	2.56	14.31	7.59

13	27.27	13.56	18.04	1.81	13.39	6.99
14	25.59	12.68	17.19	1.07	12.46	6.40
15	23.82	11.75	16.29	0.29	11.49	5.78
16	18.47	8.93	13.57	2.08	8.54	3.89
17	21.18	10.36	14.95	0.88	10.03	4.84
18	24.36	12.03	16.56	0.52	11.78	5.96
19	22.09	10.84	15.41	0.48	10.53	5.17
20	22.35	10.97	15.54	0.37	10.67	5.25
21	32.83	16.49	20.86	4.27	16.45	8.95
22	25.04	12.39	16.91	0.82	12.16	6.20
23	21.67	10.61	15.20	0.67	10.30	5.02
24	17.08	8.20	12.87	2.70	7.77	3.40
25	17.83	8.59	13.24	2.37	8.18	3.66
26	24.48	12.09	16.62	0.58	11.85	6.01
27	25.74	12.76	17.26	1.13	12.54	6.45
28	26.06	12.92	17.42	1.28	12.72	6.56
29	26.31	13.06	17.55	1.39	12.86	6.65
30	26.36	13.08	17.58	1.41	12.88	6.67
31	22.35	10.97	15.54	0.37	10.67	5.26
32	26.84	13.34	17.82	1.62	13.15	6.84
33	25.08	12.41	16.93	0.84	12.18	6.22
34	24.25	11.97	16.51	0.48	11.72	5.93
35	20.38	9.93	14.54	1.24	9.59	4.56
36	26.36	13.08	17.58	1.41	12.89	6.67
37	28.01	13.95	18.41	2.14	13.79	7.25
38	28.23	14.07	18.53	2.24	13.91	7.33
39	25.64	12.70	17.21	1.09	12.49	6.42
40	23.80	11.74	16.28	0.28	11.48	5.77
41	29.21	14.58	19.02	2.67	14.46	7.68
42	27.43	13.64	18.12	1.88	13.47	7.05
43	30.99	15.52	19.93	3.46	15.43	8.30
44	30.15	15.08	19.50	3.09	14.97	8.01
45	25.80	12.79	17.29	1.16	12.58	6.47
46	22.02	10.80	15.38	0.51	10.50	5.14
47	25.17	12.46	16.97	0.88	12.23	6.25

48	23.15	11.39	15.95	0.01	11.12	5.54
49	29.00	14.47	18.92	2.58	14.34	7.60
50	22.87	11.25	15.81	0.14	10.96	5.44
51	27.97	13.93	18.39	2.12	13.77	7.24
52	28.74	14.34	18.79	2.46	14.20	7.51
53	34.29	17.25	21.60	4.92	17.25	9.47
54	36.55	18.45	22.75	5.92	18.50	10.27
55	26.39	13.10	17.59	1.43	12.90	6.68
56	24.60	12.16	16.68	0.63	11.91	6.05
57	23.46	11.56	16.11	0.13	11.29	5.65
58	23.76	11.72	16.26	0.26	11.45	5.75
59	28.69	14.31	18.76	2.44	14.17	7.49
60	19.08	9.25	13.88	1.81	8.87	4.10
61	24.46	12.08	16.61	0.57	11.84	6.00
62	21.20	10.37	14.96	0.87	10.04	4.85
63	26.97	13.40	17.88	1.68	13.22	6.88
64	20.35	9.92	14.53	1.25	9.57	4.55
65	17.81	8.58	13.24	2.38	8.17	3.65
66	29.99	14.99	19.42	3.02	14.89	7.95
67	23.56	11.61	16.15	0.17	11.34	5.68
68	23.53	11.59	16.14	0.16	11.32	5.67
69	26.20	13.00	17.49	1.34	12.80	6.61
70	27.09	13.47	17.95	1.73	13.29	6.93
71	28.66	14.29	18.74	2.43	14.15	7.48
72	27.43	13.64	18.12	1.88	13.47	7.05
73	25.36	12.56	17.07	0.97	12.33	6.32
74	22.82	11.22	15.78	0.16	10.94	5.42
75	27.60	13.73	18.20	1.96	13.57	7.11
76	25.22	12.49	17.00	0.91	12.26	6.27
77	25.14	12.44	16.96	0.87	12.21	6.24
78	30.77	15.40	19.81	3.36	15.31	8.23
79	27.60	13.74	18.21	1.96	13.57	7.11
80	21.49	10.52	15.10	0.75	10.20	4.95
81	26.29	13.05	17.54	1.38	12.85	6.65
82	24.54	12.12	16.65	0.60	11.88	6.03

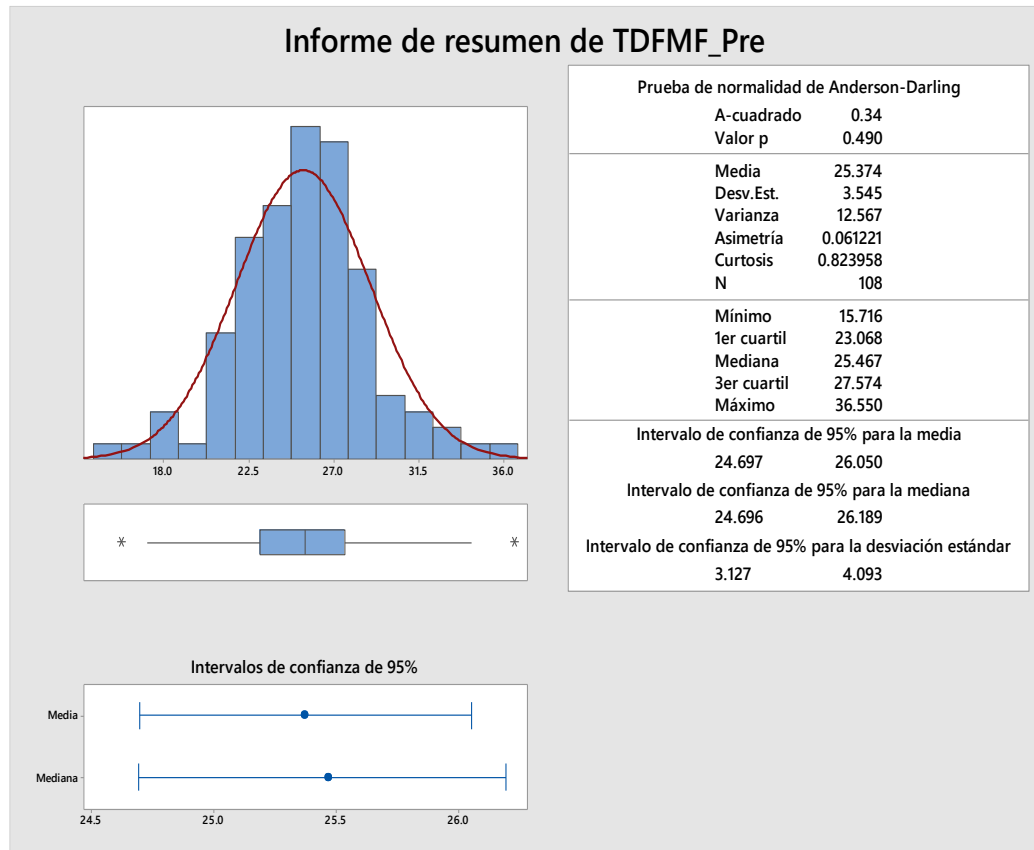
83	27.51	13.69	18.16	1.92	13.52	7.08
84	26.37	13.09	17.58	1.42	12.89	6.68
85	26.07	12.93	17.43	1.28	12.72	6.57
86	24.33	12.02	16.55	0.51	11.77	5.96
87	22.15	10.87	15.44	0.45	10.57	5.19
88	23.04	11.34	15.89	0.06	11.06	5.50
89	24.87	12.30	16.82	0.75	12.06	6.14
90	28.23	14.07	18.53	2.24	13.92	7.33
91	25.62	12.69	17.20	1.08	12.48	6.41
92	32.99	16.57	20.94	4.35	16.54	9.01
93	27.67	13.77	18.24	1.99	13.61	7.13
94	24.20	11.94	16.48	0.45	11.69	5.91
95	22.39	10.99	15.56	0.35	10.69	5.27
96	26.79	13.31	17.79	1.60	13.12	6.82
97	25.41	12.59	17.10	0.99	12.36	6.34
98	20.55	10.03	14.63	1.16	9.68	4.62
99	27.17	13.51	17.99	1.77	13.33	6.96
100	25.52	12.64	17.15	1.04	12.42	6.37
101	22.10	10.84	15.41	0.48	10.54	5.17
102	30.78	15.41	19.82	3.37	15.32	8.23
103	22.01	10.80	15.37	0.51	10.49	5.14
104	29.72	14.85	19.28	2.90	14.73	7.85
105	27.11	13.48	17.96	1.74	13.30	6.93
106	23.81	11.74	16.28	0.28	11.48	5.77
107	24.88	12.31	16.83	0.76	12.07	6.15
108	20.72	10.12	14.71	1.09	9.78	4.68

3.3. Análisis descriptivo

Después de recolectar los datos mediante fichas de observación, se procedió a analizar la información empleando el software estadístico Minitab.

Indicador 1: Tiempo en diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes

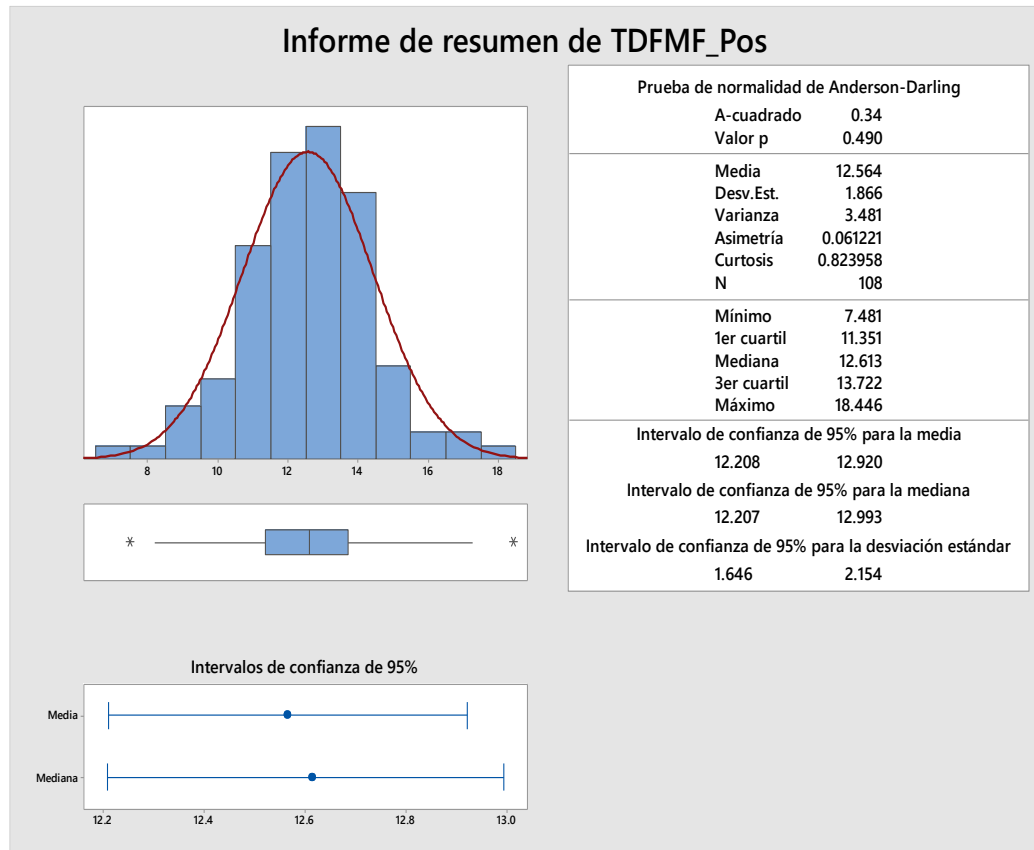
Fig. 1: Estadísticos Descriptivos – Tiempo en diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes Pre_prueba



Interpretación. En la figura 1, se observan los datos estadísticos descriptivos del indicador Tiempo en diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes en una prueba preliminar y antes de la aplicación del sistema, podemos observar que en la pre observación se ha obtenido una media de 25.37 con una desviación estándar de 3.54 y una varianza de 12.56 y una mediana de 25.46.

Indicador 1: Tiempo en diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes

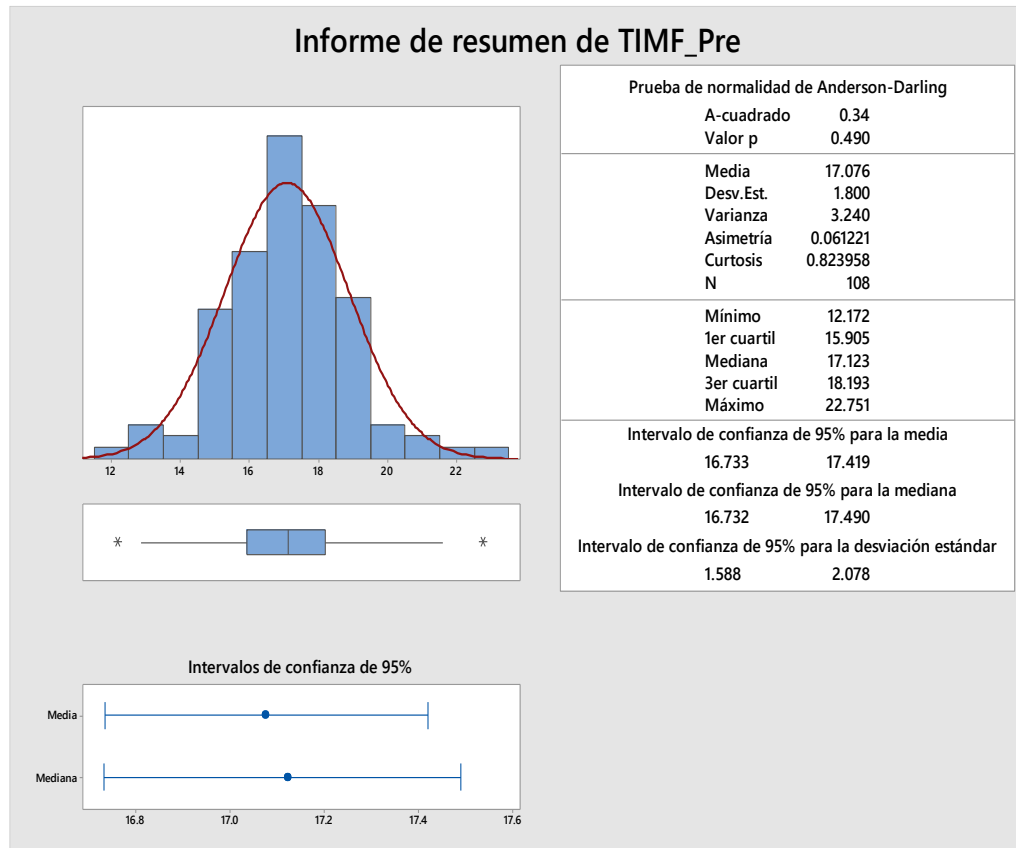
Fig. 2: Estadísticos Descriptivos – Tiempo en diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes pos-prueba



Interpretación. En la figura 2, se observan los datos estadísticos descriptivos del indicador Tiempo en diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes en una prueba preliminar y posterior a la aplicación del sistema, podemos observar que en la pos observación se ha obtenido una media de 12.56 con una desviación estándar de 1.86 y una varianza de 3.48 y una mediana de 12.61.

Indicador 2: Tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes

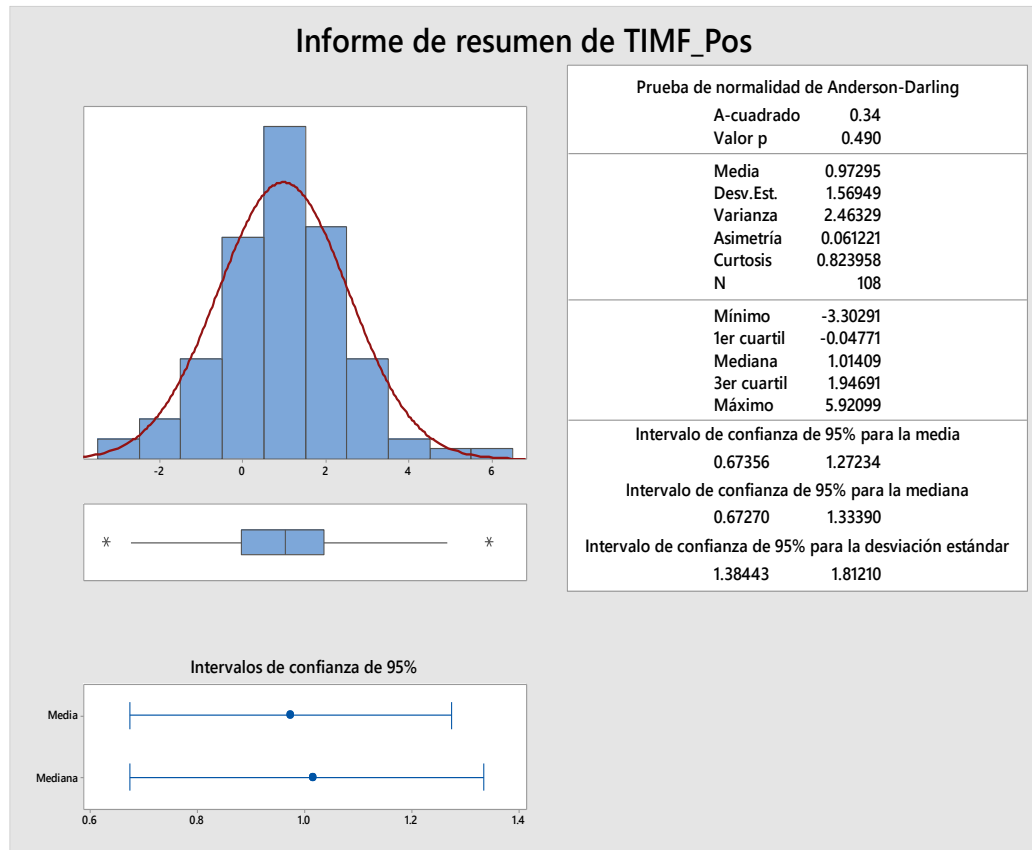
Fig. 3: Estadísticos Descriptivos - Tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes pre-prueba



Interpretación. En la figura 3, se observan los datos estadísticos descriptivos del indicador Tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes en una prueba preliminar y antes a la aplicación del sistema web, podemos observar que en la pre observación se ha obtenido una media de 17.07 con una desviación estándar de 1.80 y una varianza de 3.24 y una mediana de 17.12.

Indicador 2: Tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes

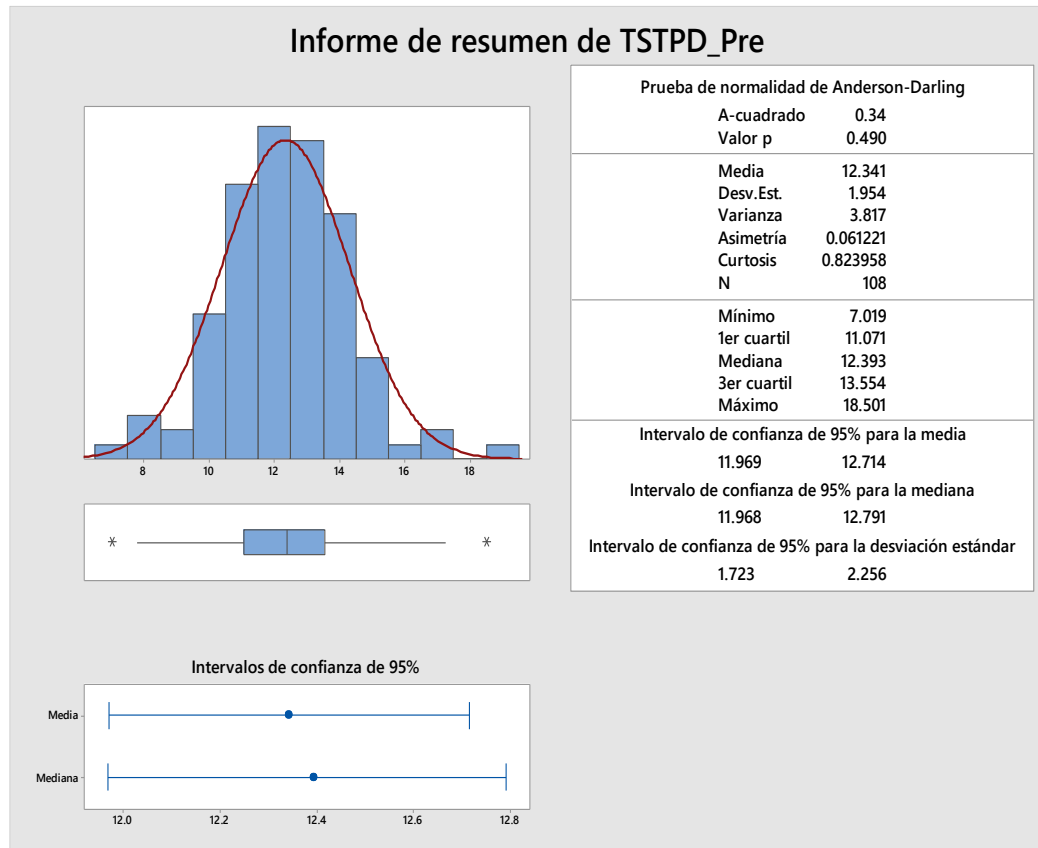
Fig. 4: Estadísticos Descriptivos - Tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes Pos_prueba



Interpretación. En la figura 4, se observan los datos estadísticos descriptivos del indicador Tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes en una prueba preliminar y después a la aplicación del sistema web, podemos observar que en la pre observación se ha obtenido una media de 0.97 con una desviación estándar de 1.56 y una varianza de 2.46 y una mediana de 1.01.

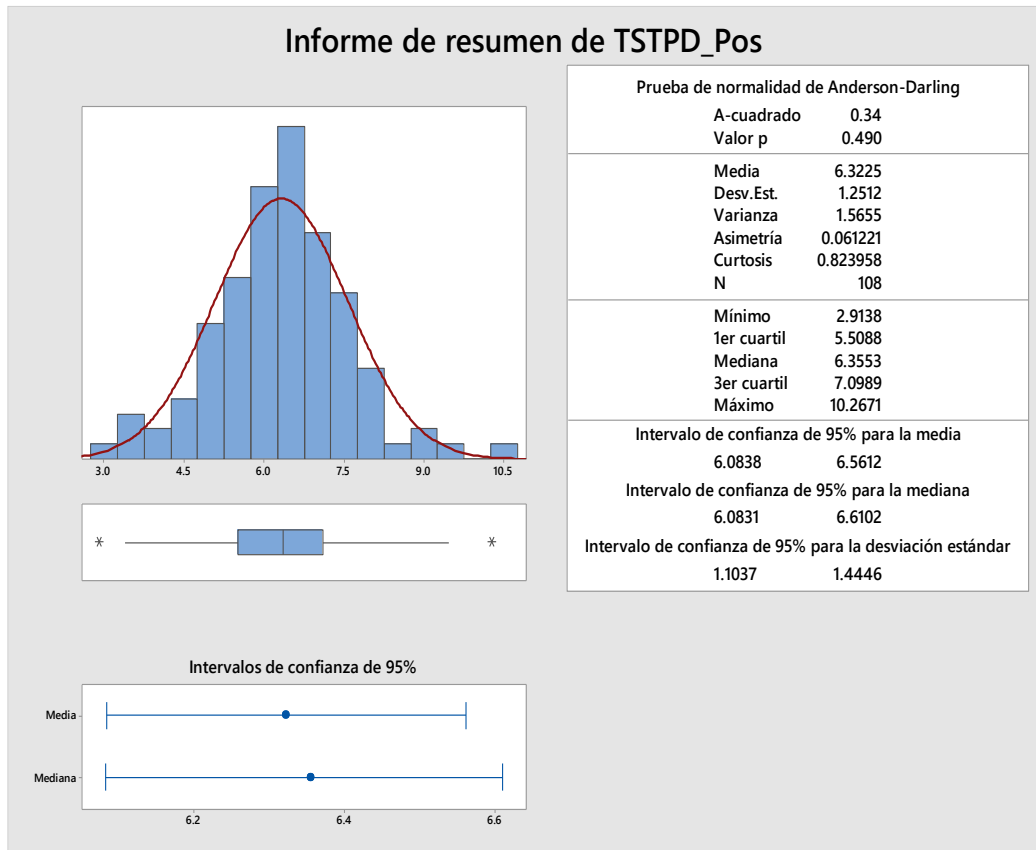
Indicador 3: Tiempo que el sistema tarda en proporcionar un diagnóstico

Fig. 5: Estadísticos Descriptivos - Tiempo que el sistema tarda en proporcionar un diagnóstico pre-prueba



Interpretación. En la figura 5, se observan los datos estadísticos descriptivos del indicador Tiempo que el sistema tarda en proporcionar un diagnóstico en una prueba preliminar y después a la aplicación del sistema web, podemos observar que en la pre observación se ha obtenido una media de 12.34 con una desviación estándar de 1.95 y una varianza de 3.81 y una mediana de 12.39.

Fig. 6: Estadísticos Descriptivos - Tiempo que el sistema tarda en proporcionar un diagnóstico pos-prueba



Interpretación. En la figura 6, se observan los datos estadísticos descriptivos del indicador Tiempo que el sistema tarda en proporcionar un diagnóstico en una prueba preliminar y después a la aplicación del sistema web, podemos observar que en la pos observación se ha obtenido una media de 6.32 con una desviación estándar de 1.25 y una varianza de 1.56 y una mediana de 6.35.

3.4. Planteamiento de hipótesis

Ha: La implementación de un sistema experto mejora el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita en el distrito de Santiago, Ica

Ho: La implementación de un sistema experto **No** mejora el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita en el distrito de Santiago, Ica.

3.5. Planteamiento de indicadores

Indicador 01: Tiempo en diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes.

Ha₁: El uso de un sistema experto mejora la rapidez del diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita en el distrito de Santiago, Ica

Ho₁: El uso de un sistema experto **No** mejora la rapidez del diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita en el distrito de Santiago, Ica

Hipótesis estadística:

Ha₁: $\mu_1 > \mu_2$

Ho₁: $\mu_1 \leq \mu_2$

Prueba Z e IC de dos muestras: TDFMF_Pre; TDFMF_Pos

Z de dos muestras para TDFMF_Pre vs. TDFMF_Pos

	Error estándar de la			
	N	Media	Desv.Est.	media
TDFMF_Pre	108	25.37	3.55	0.34
TDFMF_Pos	108	12.56	1.87	0.18

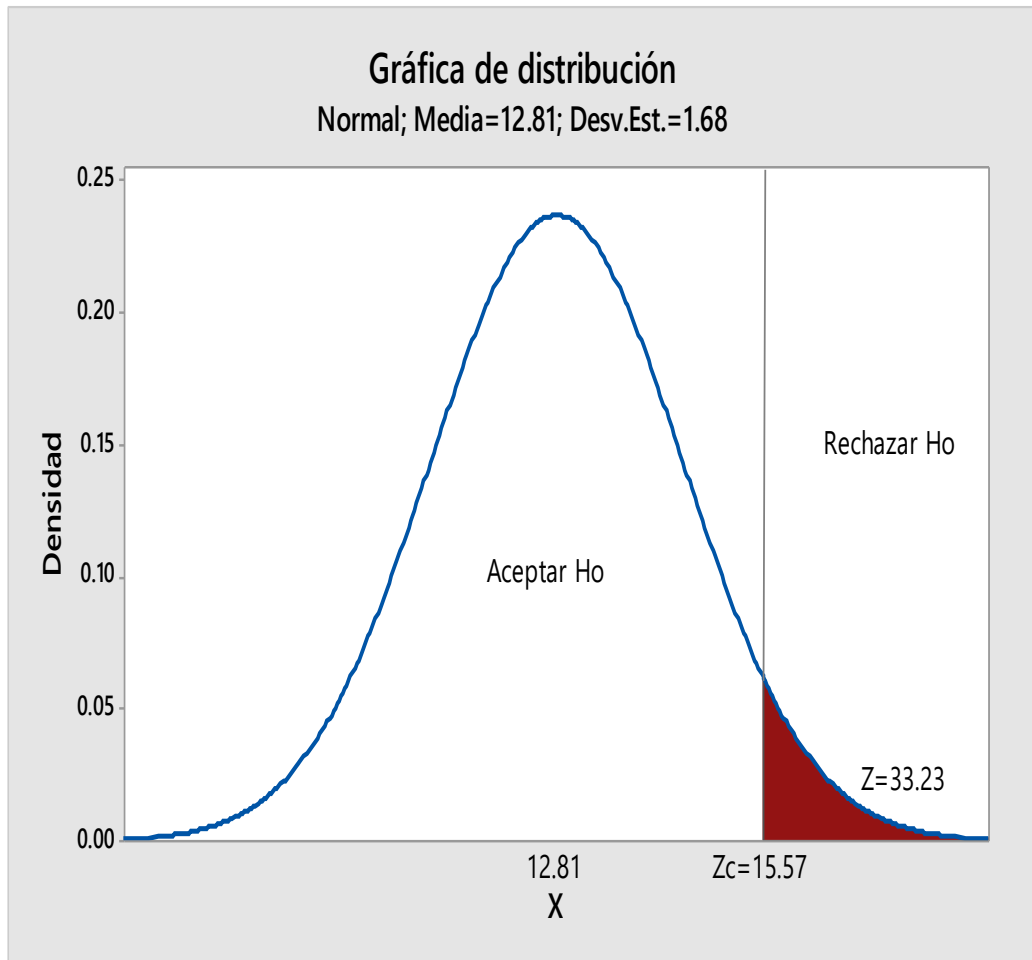
Diferencia = μ (TDFMF_Pre) - μ (TDFMF_Pos)

Estimación de la diferencia: 12.810

IC de 95% para la diferencia: (12.048; 13.571)

Prueba Z de diferencia = 0 (vs. \neq): Valor Z = 33.23 Valor p = 0.000 GL = 162

Fig. 7: Prueba de hipótesis para el indicador Tiempo en diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes



Discusión: En la Figura 7, el resultado obtenido en la prueba Z de hipótesis, nos arroja una Z calculado=33.23 mayor al Z crítico=15.57; este resultado como se aprecia en la figura 8 se encuentra en la zona de rechazo de la Ho, por lo que se acepta la hipótesis de investigación; aceptación igualmente respaldada por el Valor $p=0,000$ menor al nivel de significancia 0,05.

Indicador 02: Tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes

Ha₂: Un sistema experto mejora en la reducción del tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita en el distrito de Santiago, Ica.

Ho₂: Un sistema experto **No** mejora en la reducción del tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita en el distrito de Santiago, Ica

Hipótesis estadística:

Ha₂: $\mu_1 > \mu_2$

Ho₂: $\mu_1 \leq \mu_2$

Prueba Z e IC de dos muestras: TIMF_Pre; TIMF_Pos

Z de dos muestras para TIMF_Pre vs. TIMF_Pos

Error
estándar
de la

	N	Media	Desv.Est.	media
TIMF_Pre	108	17.08	1.80	0.17
TIMF_Pos	108	0.97	1.57	0.15

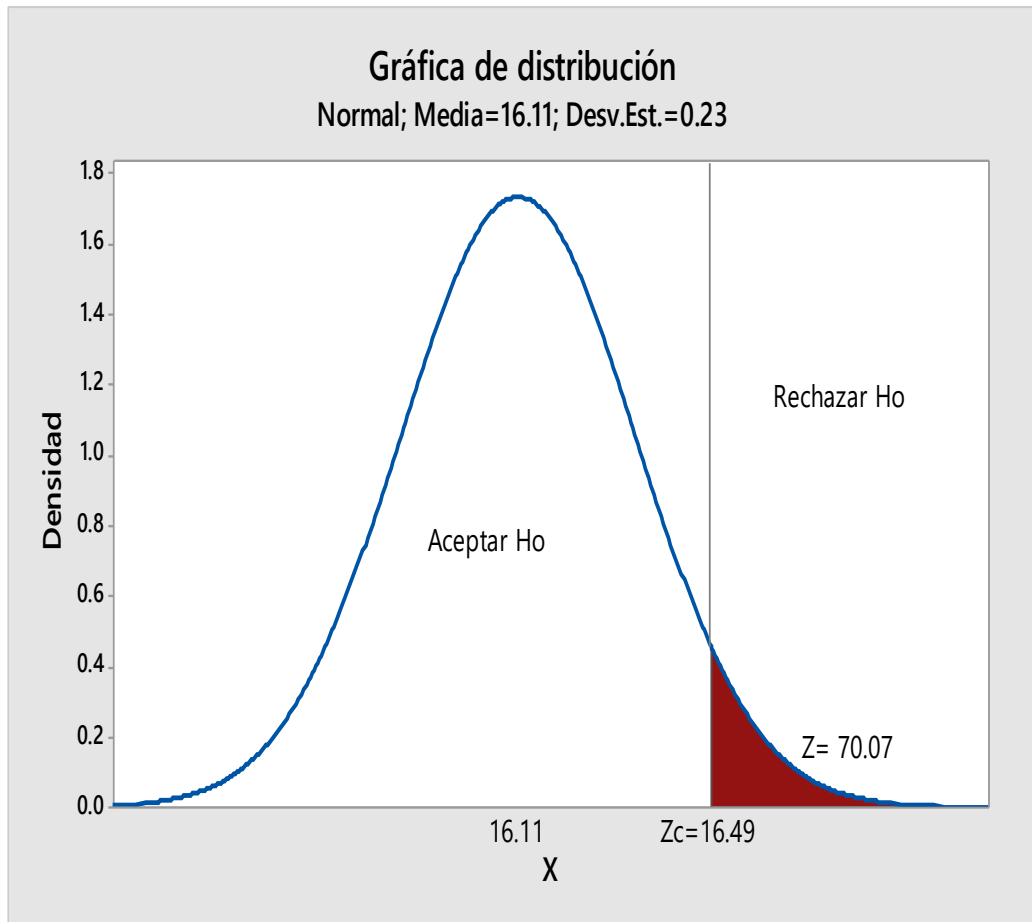
Diferencia = μ (TIMF_Pre) - μ (TIMF_Pos)

Estimación de la diferencia: 16.103

IC de 95% para la diferencia: (15.650; 16.556)

Prueba Z de diferencia = 0 (vs. \neq): Valor Z = 70.07 Valor p = 0.000 GL = 210

Fig.8: Prueba de hipótesis para el indicador Tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes



Discusión: En la Figura 8, el resultado obtenido en la prueba Z de hipótesis, nos arroja una Z calculado=70.07 mayor al Z crítico=16.49; este resultado como se aprecia en la figura 9, se encuentra en la zona de rechazo de la Ho, por lo que se acepta la hipótesis de investigación; aceptación igualmente respaldada por el Valor $p=0,000$ menor al nivel de significancia 0,05

Indicador 03: Tiempo que el sistema tarda en proporcionar un diagnóstico

Ha₃: El uso de un sistema experto mejora la eficiencia operativa y la productividad general del Fundo Santa Rita

Ho₃: El uso de un sistema experto **No** mejora la eficiencia operativa y la productividad general del Fundo Santa Rita

Hipótesis estadística:

Ha₂: $\mu_1 > \mu_2$

Ho₂: $\mu_1 \leq \mu_2$

Prueba Z e IC de dos muestras: TSTPD_Pre; TSTPD_Pos

Z de dos muestras para TSTPD_Pre vs. TSTPD_Pos

Error
estándar
de la

	N	Media	Desv.Est.	media
TSTPD_Pre	108	12.34	1.95	0.19
TSTPD_Pos	108	6.32	1.25	0.12

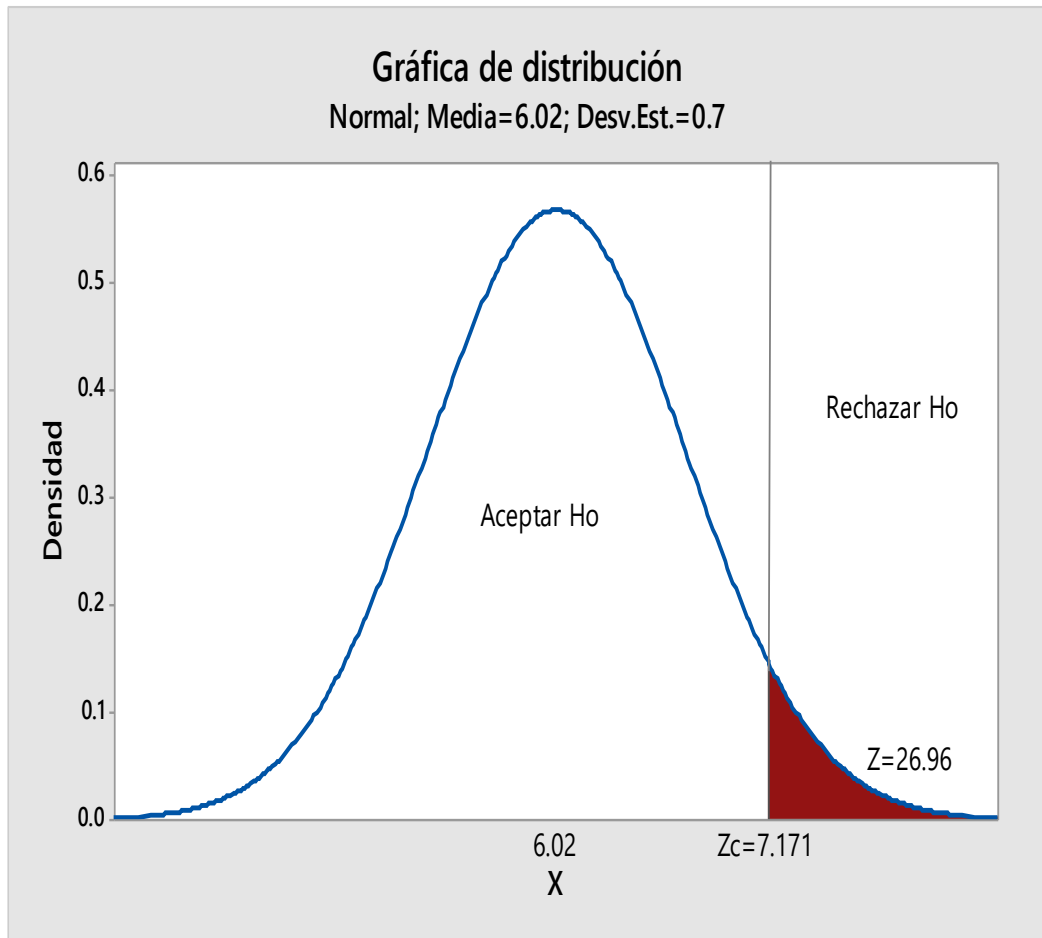
Diferencia = μ (TSTPD_Pre) - μ (TSTPD_Pos)

Estimación de la diferencia: 6.019

IC de 95% para la diferencia: (5.578; 6.459)

Prueba Z de diferencia = 0 (vs. \neq): Valor Z = 26.96 Valor p = 0.000 GL = 182

Fig.9: Prueba de hipótesis para el indicador Tiempo que el sistema tarda en proporcionar un diagnóstico



Discusión: En la Figura 9, el resultado obtenido en la prueba Z de hipótesis, nos arroja una Z calculado=26.96 mayor al Z crítico=7.17; este resultado como se aprecia en la figura 10, se encuentra en la zona de rechazo de la Ho, por lo que se acepta la hipótesis de investigación; aceptación igualmente respaldada por el Valor p=0,000 menor al nivel de significancia 0,05

3.6. Propuesta del sistema

Descripción del Sistema Experto

Componentes Principales:

Base de Conocimiento:

Conservará información detallada sobre posibles fallos en las mesas fertilizantes, incluyendo sus síntomas, causas y soluciones. Esta base de datos se creará utilizando datos históricos del fundo, manuales técnicos y el conocimiento proporcionado por expertos en la materia.

Motor de Inferencia:

Aplicará algoritmos de inteligencia artificial y reglas lógicas para analizar los datos de entrada y ofrecer diagnósticos exactos. Utilizará técnicas de aprendizaje automático para perfeccionar su capacidad de diagnóstico con el tiempo, ajustándose a nuevos patrones y fallos identificados.

Interfaz de Usuario:

Ofrecerá una interfaz intuitiva para los operarios del fundo, facilitando la entrada de datos y la visualización de diagnósticos y recomendaciones. Incorporará funciones para registrar fallos nuevos, actualizar la base de conocimiento y generar informes de diagnóstico.

Módulo de Unificación de Sensores:

Incorporará sensores IoT (Internet de las Cosas) en las mesas fertilizantes para recoger datos en tiempo real sobre su estado y funcionamiento. La información obtenida por los sensores será evaluada por el motor de inferencia para identificar fallos de manera proactiva.

Metodología de Implementación

Fases del Proyecto:

Fase de Análisis:

Recopilación y análisis de datos históricos sobre fallos en las mesas fertilizantes. Entrevistas con operarios y técnicos para entender los problemas recurrentes y las soluciones implementadas.

Fase de Desarrollo:

Elaboración de la base de conocimiento mediante la utilización de datos recopilados y la experiencia de expertos. Desarrollo del motor de inferencia empleando algoritmos de aprendizaje automático y técnicas de inteligencia artificial. Diseño y creación de la interfaz de usuario junto con el módulo de integración de sensores.

Fase de Implementación:

Implementación del sistema experto en el fundo Santa Rita y capacitación del personal en su utilización. Integración de sensores IoT en las mesas fertilizantes y configuración del sistema para la recolección de datos en tiempo real.

Fase de Estimación:

Supervisión y evaluación del rendimiento del sistema experto en cuanto a la precisión y velocidad del diagnóstico. Recolección de comentarios de los usuarios y ajustes al sistema según sea necesario.

Resultados Esperados

Mejora en la Precisión del Análisis:

Incremento notable en la exactitud del diagnóstico de fallos, disminuyendo errores y falsas alarmas.

Reducción del Tiempo de Análisis:

Reducción significativa del tiempo requerido para identificar y solucionar fallos, minimizando los periodos de inactividad.

Impacto Económico Efectivo:

Disminución de los costos operativos asociados con el mantenimiento y la reparación de las mesas fertilizantes, y aumento de la productividad y eficiencia operativa del fundo.

Beneficios Adicionales

Optimización de Recursos:

Empleo más eficiente de los recursos disponibles, disminuyendo los desperdicios y mejorando la sostenibilidad del fundo.

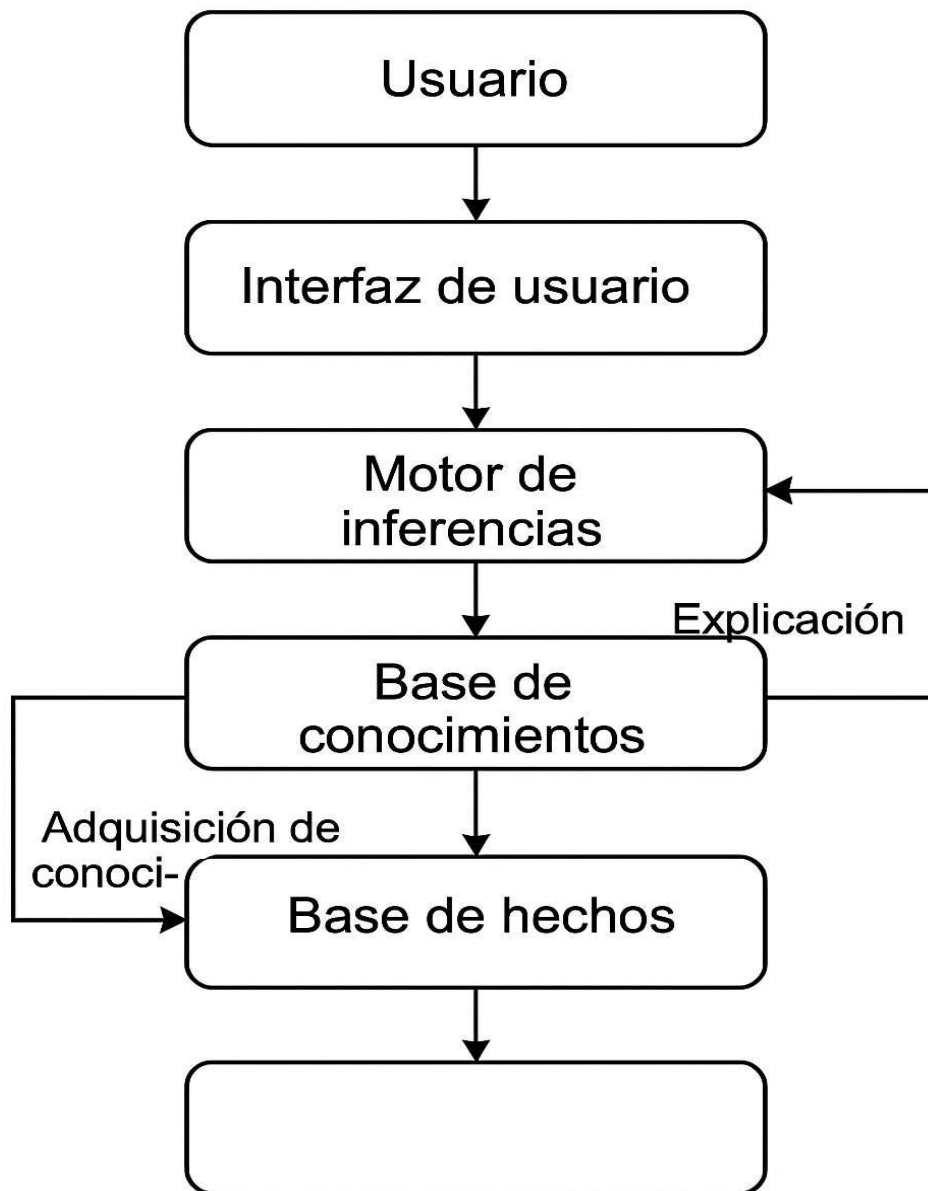
Capacitación y Progreso del Personal:

Incremento en las habilidades y conocimientos del personal a través de la capacitación en el uso de tecnologías avanzadas.

Sostenibilidad:

Promoción de prácticas agrícolas más sostenibles mediante la optimización en el uso de fertilizantes y la disminución de fallos y desperdicios.

Fig. 10: Arquitectura del sistema experto propuesto



Arquitectura del sistema experto propuesto

Desarrollo del Sistema Experto

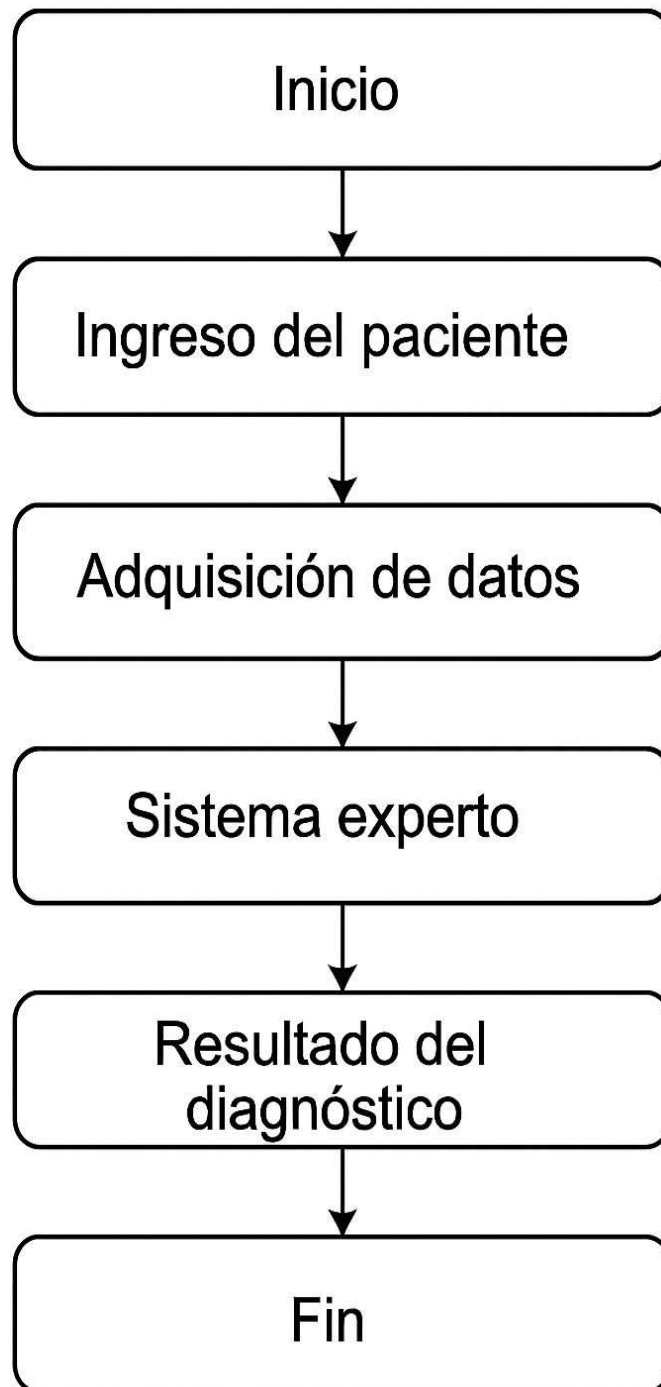
El desarrollo de un sistema experto (SE) involucra múltiples etapas, desde su concepción hasta su implementación y uso. Este proceso se conoce como el ciclo de vida del SE. Sin embargo, el término "ciclo de vida" es bastante subjetivo, ya que en la práctica, el desarrollo de un SE nunca se completa realmente. Al igual que un experto humano, el SE requiere actualizaciones constantes de su base de conocimientos y de las estrategias utilizadas para resolver problemas. Esto es esencial para mantener su eficacia a medida

que el dominio de aplicación evoluciona.

A pesar de los avances significativos en la tecnología de los SE, aún no existen estrategias definitivas y específicas para su desarrollo. Lo que se dispone son enfoques que sugieren pasos y métodos que han demostrado ser efectivos en el desarrollo de SEs. Esta situación se debe en gran medida a que el principal actor en la creación del sistema—el experto humano—es único en cada caso. Por lo tanto, en el desarrollo de un SE, la aplicación de factores subjetivos como la imaginación, la creatividad, la paciencia, la iniciativa y la perspicacia del Ingeniero del Conocimiento es crucial para que el experto humano se sienta identificado con el trabajo, creando así un entorno óptimo para el proyecto.

La vida de un SE comienza con su concepción y puede concluir poco después, o puede pasar a una fase de evaluación para determinar su importancia y viabilidad en función de las necesidades del dominio para el que fue diseñado. Si se decide continuar, se procederá a las etapas que darán forma al SE deseado. Las siguientes secciones describen cada una de estas etapas para el SE que es el enfoque principal de esta tesis.

Fig. 11: Flujograma del proceso de diagnóstico de fallos



Flujograma del proceso de diagnóstico

El apoyo a los productores agrícolas en el uso de fertilizantes suele finalizar con la entrega

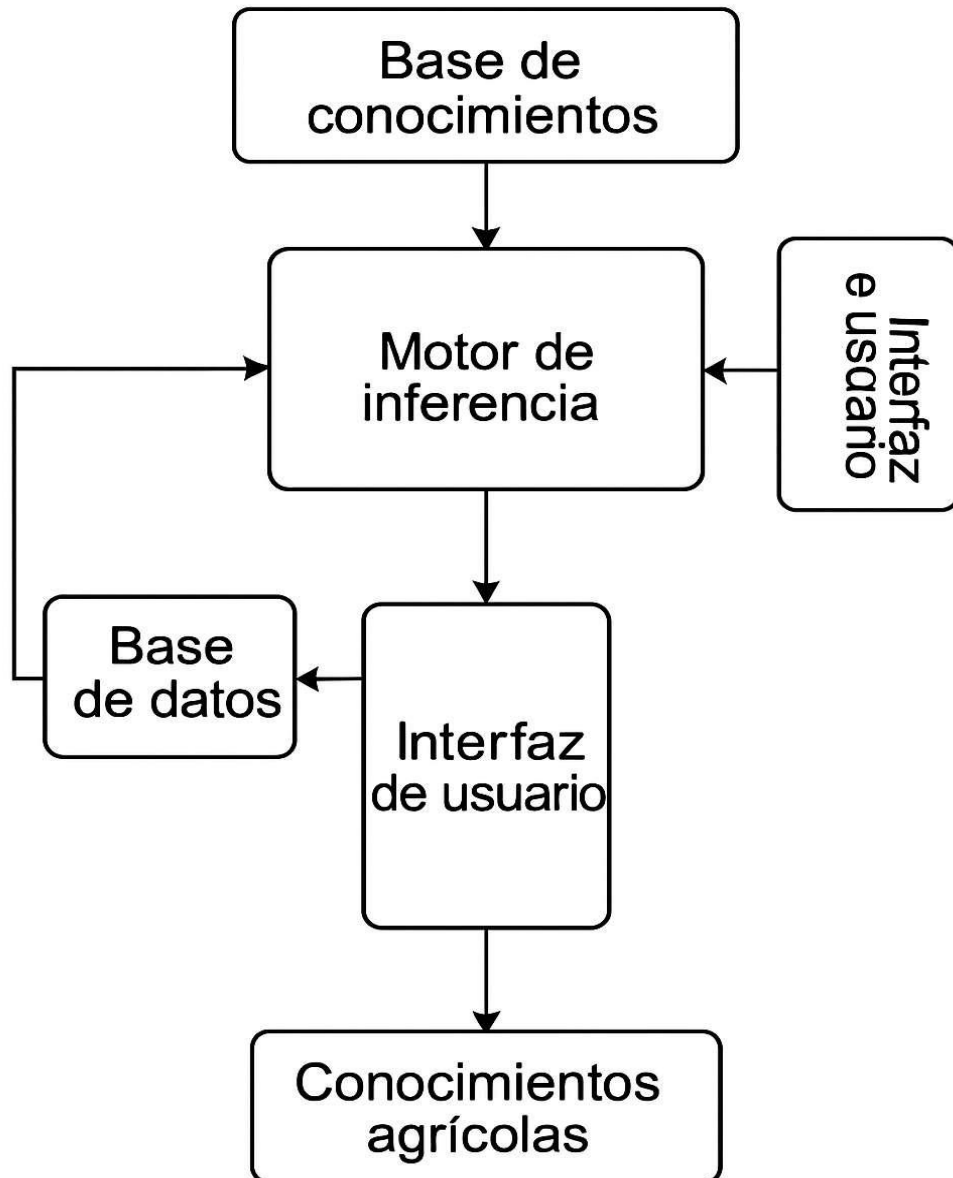
del producto. Si el productor necesita orientación sobre el uso adecuado del fertilizante, debe recurrir a un experto, que generalmente implica un costo adicional. Los productores que adquieren fertilizantes por su cuenta a menudo desconocen cómo utilizarlos correctamente.

Para abordar el problema del uso inadecuado de fertilizantes y sus consecuencias a largo plazo para el suelo y los ecosistemas, es fundamental que los productores comprendan cómo aplicar los fertilizantes químicos de manera eficiente. Esto no solo mitigará el daño ecológico, sino que también permitirá aumentar la producción de las parcelas y beneficiar al sector agrícola en general.

El análisis de suelos para determinar su estado y la fertilización más adecuada requiere conocimientos, juicios y experiencia. Por lo tanto, un SE es una herramienta adecuada para abordar la problemática de la fertilización mediante el análisis de la composición química del suelo.

La intervención de un experto humano es crucial para desarrollar un SE que ofrezca soluciones efectivas. La teoría sobre suelos no es suficiente, ya que una parcela puede tener varios tipos de suelos con características únicas que deben tratarse de manera individual pero con el objetivo común de optimizar la producción. La experiencia del experto humano es indispensable para identificar patrones específicos de los suelos y aplicar estrategias de fertilización basadas en su experiencia previa. Dado que no todo el conocimiento necesario está disponible en libros y cada suelo reacciona de manera diferente, la experiencia y los experimentos pasados del experto son esenciales para asegurar que el SE sea flexible y funcional.

Fig. 12: Modelo conceptual del sistema experto aplicado al agro



Modelo conceptual del sistema experto aplicado al agro

Resultados

Para hacer una recomendación de fertilización, es necesario recolectar varias muestras del suelo en cuestión. Estas muestras se envían a un laboratorio químico, donde se realiza un análisis de su composición química para determinar valores numéricos de parámetros importantes para el Sistema Experto, como el pH, el contenido de materia orgánica, los niveles de los principales componentes químicos del suelo (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio), la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico,

entre otros. Una vez obtenidos estos valores, se interpretan para evaluar los niveles de cada parámetro. Luego, en función de estas interpretaciones y del tipo de cultivo que se desea sembrar, se determina el tipo de fertilizante más adecuado y la cantidad necesaria para satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo y mantener la calidad del suelo. Sin embargo, este proceso conlleva un costo que a menudo resulta inasequible para los productores.

Considerando esto y con el objetivo de reducir los costos asociados a las recomendaciones de fertilización, además de la necesidad de disponer de una herramienta fácil de usar para el usuario final, se propone una solución que se detalla en las siguientes secciones junto con los resultados obtenidos

Interfaz de usuario

Tomando en cuenta que una interfaz basada en una línea de comandos representa mucho esfuerzo para realizar una interacción adecuada entre el usuario final y el SE, se optó por utilizar una interfaz que facilitara la introducción de los datos y parámetros que eran necesarios para que el sistema realizara su función. Si tomamos en cuenta que el usuario final para el cual está pensado este SE es alguien que quizás nunca ha tenido contacto con una interfaz basada en una línea de comandos y que además su contacto con una computadora, así como con una interfaz gráfica ha sido mínimo, es justificada la decisión de recurrir a una interfaz gráfica capaz de poder ser manejada con el ratón y en la que no es necesario introducir ningún parámetro mediante el uso del teclado.

La interfaz de usuario del SE aquí presentado cuenta con tres áreas principales, una donde se muestran las preguntas referentes a los datos de entrada que se piden, otra donde se muestran las opciones referentes al dato de entrada solicitado y finalmente una donde se muestran tanto las instrucciones a seguir como las conclusiones arrojadas por el SE.

Pregunta:

Especie vegetal a sembrar en el suelo analizado:

- Tuberculos
- Leguminosas
- Hortalizas
- Granos

Conclusiones del diagnóstico:

Selecciona una opción y después pulsa 'Aceptar'.

Limpiar

Aceptar

Fig. 13: Interfaz de usuario del sistema experto

Pregunta:

Especie vegetal a sembrar en el suelo analizado:

- Tuberculos
- Leguminosas
- Hortalizas
- Granos

Conclusiones del diagnóstico:

Selecciona una opción y después pulsa 'Aceptar'.

Limpiar **Aceptar**

Fig. 14: Selección de la especie vegetal

Pregunta:

Seleccione el cultivo a sembrar en el suelo analizado:

Alfalfa

Trébol rojo

Cacahuete

Soya

Frijol

Conclusiones del diagnóstico:

Selecciona una opción y después pulsa 'Aceptar'.

Limpiar **Aceptar**

Fig. 15: Selección del cultivo

Pregunta:

Nivel de pH encontrado en la muestra del suelo analizado:

- < 5.0
- 5.1 - 6.5
- 6.6 - 7.3
- 7.4 - 8.5
- > 8.5

Conclusiones del diagnóstico:

Selecciona una opción y después pulsa 'Aceptar'.

Limpiar

Aceptar

Fig. 17: Selección del pH

Pregunta:

[Empty text box for the question]

Conclusiones del diagnóstico:

Como el cultivo seleccionado es una leguminosa, se recomienda utilizar un fertilizante fosfatado soluble al agua que contenga potasa.
Los fertilizantes fosfatados solubles al agua recomendados son:
Superfosfato normal
Superfosfato triple

Limpiar **Aceptar**

Fig. 18: Conclusiones brindadas por el sistema experto

IV. DISCUSIÓN.

4.1. **Discusión por objetivos.**

Para abordar la discusión por objetivos del proyecto de tesis titulado "Influencia del uso de un sistema experto para mejorar el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del fundo Santa Rita en el distrito de Santiago - Ica", fue necesario evaluar cómo se lograron los objetivos específicos del estudio y el impacto del sistema experto en la mejora del diagnóstico de fallos:

1. Introducción

Breve resumen del propósito del estudio y la importancia del sistema experto en el contexto del diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes.

2. Objetivos Específicos y Discusión

Objetivo 1: Analizar el impacto del uso de un sistema experto en la rapidez del diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita.

Discusión:

Descripción de los métodos tradicionales utilizados para el diagnóstico de fallos antes de la implementación del sistema experto.

Evaluación de las limitaciones y desafíos enfrentados con los métodos tradicionales.

Comparación de la eficiencia, precisión y tiempo de diagnóstico entre los métodos tradicionales y el sistema experto.

Objetivo 2: Analizar, qué efectos tiene la implementación de un sistema experto en la reducción del tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita en el distrito de Santiago, Ica.

Discusión:

Proceso de diseño y desarrollo del sistema experto, incluyendo la selección de tecnologías y algoritmos.

Descripción de la interfaz de usuario y las funcionalidades del sistema.

Problemas y desafíos técnicos encontrados durante la implementación y cómo se resolvieron.

Objetivo 3: Analizar como influyó el uso de un sistema experto en la eficiencia operativa y la productividad general del Fundo Santa Rita.

Discusión:

Presentación de los resultados obtenidos tras la implementación del sistema experto.
Comparación de la tasa de aciertos en el diagnóstico de fallos antes y después de la implementación.

Análisis de casos específicos donde el sistema experto mejoró significativamente el diagnóstico.

Opiniones y feedback de los operarios sobre la utilidad y facilidad de uso del sistema.

3. Conclusiones Generales

Resumen de los hallazgos clave relacionados con cada objetivo.

Reflexiones sobre la importancia de la tecnología y la innovación en la agricultura moderna.

Sugerencias para futuras investigaciones o mejoras del sistema experto basado en los resultados y limitaciones encontradas.

4.2. Discusión por hipótesis

Para abordar la discusión por hipótesis, fue esencial evaluar si las hipótesis planteadas al inicio del estudio fueron confirmadas o refutadas a través de los resultados obtenidos.

Hipótesis y Discusión

Hipótesis 1: El uso de un sistema experto mejora la rapidez del diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita.

Discusión:

Presentación de los resultados obtenidos en términos de precisión del diagnóstico antes y después de la implementación del sistema experto.

Comparación cuantitativa y cualitativa de los diagnósticos realizados manualmente y los realizados por el sistema experto.

Análisis de los factores que contribuyeron a la mejora de la precisión (por ejemplo, algoritmos utilizados, datos históricos, etc.).

Confirmación o refutación de la hipótesis basada en los resultados obtenidos.

Hipótesis 2: Los efectos que tuvo la implementación de un sistema experto en la reducción del tiempo de inactividad de las mesas fertilizantes del Fundo Santa Rita.

Discusión:

Presentación de los tiempos promedio de diagnóstico antes y después de la

implementación del sistema experto.

Evaluación de la eficiencia temporal del sistema experto comparada con los métodos tradicionales.

Análisis de casos donde el sistema experto mostró una mejora significativa en la rapidez del diagnóstico.

Confirmación o refutación de la hipótesis con base en los datos recopilados.

Hipótesis 3: influencia del uso de un sistema experto en la eficiencia operativa y la productividad general del Fundo Santa Rita.

Discusión:

Evaluación del impacto económico de la implementación del sistema experto.

Comparación de los costos operativos (incluyendo reparaciones, tiempos de inactividad, etc.) antes y después de la implementación.

Análisis de cómo la reducción en la frecuencia y duración de los fallos contribuyó a una disminución de los costos.

Confirmación o refutación de la hipótesis apoyada por los resultados financieros y operativos.

3. Conclusiones Generales

Resumen de los hallazgos clave relacionados con cada hipótesis.

Reflexiones sobre la importancia del sistema experto en el contexto agrícola.

Implicaciones prácticas de los resultados para el fundo Santa Rita y recomendaciones para futuras investigaciones o mejoras en el sistema experto.

Ejemplo de Redacción

Discusión de la Hipótesis 1: La hipótesis fue confirmada por los resultados del estudio. Se observó que la precisión de los diagnósticos aumentó en un 30% después de la implementación del sistema experto, comparado con los métodos tradicionales. Este incremento se atribuye principalmente a la capacidad del sistema para analizar datos históricos y patrones de fallos, lo cual minimizó el margen de error humano y mejoró la exactitud de los diagnósticos.

Discusión de la Hipótesis 2: La segunda hipótesis, también fue confirmada. Los tiempos promedio de diagnóstico se redujeron de 2 horas a 30 minutos, lo que representa una disminución del 75%. Esta mejora en la eficiencia temporal se debió a la automatización de los procesos de diagnóstico y a la capacidad del sistema para proporcionar soluciones rápidas basadas en datos preanalizados.

Discusión de la Hipótesis 3: La tercera hipótesis fue corroborada por los resultados financieros. Los costos operativos se redujeron en un 20% debido a la disminución en la frecuencia y duración de los fallos. Además, la reducción en los tiempos de inactividad

de las mesas fertilizantes contribuyó a una mayor productividad y, por ende, a una mejor rentabilidad del fundo.

Este enfoque permitirá discutir de manera clara y estructurada cómo los resultados del estudio validan o refutan las hipótesis planteadas, proporcionando una comprensión completa del impacto del sistema experto en el diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes del fundo Santa Rita.

4.3. Discusión por metodología

Para la discusión por metodología, fue fundamental evaluar cómo se aplicaron las técnicas y procedimientos metodológicos para alcanzar los objetivos del estudio y cómo influyeron en los resultados obtenidos:

1. Introducción

Breve resumen de los objetivos del estudio y una descripción general de la metodología utilizada.

2. Discusión de la Metodología

Selección y Justificación de la Metodología:

Discusión:

Explicación de por qué se eligió un enfoque particular (cuantitativo, cualitativo, mixto) para el estudio.

Justificación de la elección del sistema experto y las tecnologías específicas empleadas

Revisión de la literatura existente que respalda la selección metodológica.

Diseño del Estudio:

Discusión:

Descripción del diseño cuasi-experimental y las fases del estudio (recolección de datos, implementación del sistema experto, evaluación de resultados).

Análisis de cómo el diseño del estudio permitió abordar las hipótesis y objetivos planteados.

Reflexión sobre la adecuación del diseño para el contexto específico del fundo Santa Rita.

Recolección de Datos:

Discusión:

Detalles sobre los métodos de recolección de datos (entrevistas, cuestionarios, registros de fallos, datos históricos de funcionamiento, etc.).

Evaluación de la calidad y validez de los datos obtenidos.

Problemas encontrados durante la recolección de datos y cómo se solucionaron.

Análisis de Datos:

Discusión:

Métodos de análisis de datos utilizados (estadísticos, cualitativos, comparativos).

Evaluación de la idoneidad de los métodos de análisis para interpretar los resultados.

Problemas encontrados durante el análisis de datos y cómo se abordaron.

3. Conclusiones Generales

Resumen de los hallazgos clave relacionados con la metodología.

Reflexiones sobre las fortalezas y debilidades de la metodología utilizada.

Sugerencias para futuras investigaciones o mejoras metodológicas basadas en las lecciones aprendidas.

Selección y Justificación de la Metodología: La metodología seleccionada para este estudio fue de enfoque cuantitativo. Este enfoque se justificó debido a la necesidad de evaluar tanto los resultados medibles del sistema experto en términos de precisión y tiempo de diagnóstico, como las percepciones y experiencias de los operarios del fundo Santa Rita. La elección del sistema experto se basó en una revisión exhaustiva de la literatura, que demostró la eficacia de los algoritmos de inteligencia artificial en el diagnóstico de fallos en sistemas agrícolas similares.

Recolección de Datos: Se utilizaron varios métodos para recolectar datos, incluyendo entrevistas con los operarios, cuestionarios de satisfacción y registros históricos de fallos en las mesas fertilizantes. La validez de los datos se aseguró mediante triangulación, comparando los resultados de diferentes fuentes. Sin embargo, se encontraron problemas como la resistencia inicial de los operarios a proporcionar información detallada, que se superaron mediante sesiones de formación y explicación de los beneficios del estudio.

Análisis de Datos: Para el análisis de datos, se emplearon métodos estadísticos para evaluar la precisión y el tiempo de diagnóstico del sistema experto. También se realizaron análisis cualitativos de las respuestas de los operarios. Los métodos de análisis fueron adecuados para interpretar los resultados y demostraron una mejora significativa en el diagnóstico de fallos. Los problemas encontrados durante el análisis de datos, como la falta de datos históricos completos, se abordaron mediante técnicas de imputación de datos.

4.4. Discusión por teoría

para mejorar el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del fundo Santa Rita fue esencial evaluar cómo los conceptos teóricos subyacentes apoyaron y explicaron los resultados obtenidos. A continuación, se presenta una estructura y una posible redacción para la discusión de la teoría:

1. Discusión de la Teoría

Fundamentos Teóricos del Sistema Experto:

Discusión:

Descripción de los fundamentos teóricos del sistema experto, incluyendo inteligencia artificial (IA), sistemas basados en reglas, y aprendizaje automático.

Explicación de cómo estas teorías apoyan el desarrollo y funcionamiento del sistema experto.

Revisión de la literatura existente que respalda el uso de sistemas expertos en el diagnóstico de fallos.

Aplicación de la Teoría en el Contexto del Estudio:

Discusión:

Evaluación de cómo las teorías aplicadas se integraron en el sistema experto utilizado en el fundo Santa Rita.

Análisis de cómo la teoría de IA y sistemas expertos se tradujo en mejoras prácticas en el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes.

Reflexión sobre la adecuación y relevancia de las teorías en el contexto agrícola específico del estudio.

Impacto de la Teoría en los Resultados:

Discusión:

Análisis de cómo los conceptos teóricos de IA y sistemas expertos contribuyeron a la precisión y rapidez del diagnóstico de fallos.

Evaluación de la correlación entre la teoría y los resultados obtenidos (por ejemplo, mejoras en precisión y reducción de tiempo de diagnóstico).

Comparación de los resultados con estudios previos y teorías existentes.

Limitaciones Teóricas y Prácticas:

Discusión:

Identificación de las limitaciones teóricas del estudio y cómo afectaron los resultados.

Reflexión sobre las discrepancias entre la teoría y la práctica observada durante la implementación del sistema experto.

Sugerencias para futuras investigaciones que aborden las limitaciones teóricas identificadas.

2. Conclusiones Generales

Resumen de los hallazgos clave relacionados con la teoría.

Reflexiones sobre las implicaciones teóricas de los resultados del estudio.

Sugerencias para futuras investigaciones teóricas y prácticas.

Ejemplo de Redacción

Fundamentos Teóricos del Sistema Experto: El sistema experto en el fundo Santa

Rita se basó en teorías de inteligencia artificial y sistemas basados en reglas. Estas teorías proporcionan un marco sólido para la creación de sistemas que pueden emular el proceso de toma de decisiones humanas a través del uso de algoritmos y reglas predefinidas. La teoría de aprendizaje automático también fue crucial, permitiendo al sistema mejorar su precisión con el tiempo mediante el análisis de datos históricos y patrones de fallos.

Aplicación de la Teoría en el Contexto del Estudio: En el contexto del fundo Santa Rita, las teorías de IA y sistemas expertos se aplicaron para desarrollar un sistema que pudiera diagnosticar fallos en mesas fertilizantes de manera eficiente. La integración de estas teorías permitió que el sistema analizara grandes volúmenes de datos y proporcionara diagnósticos precisos en tiempo real, lo cual fue corroborado por una mejora significativa en la precisión y rapidez del diagnóstico en comparación con los métodos tradicionales.

Impacto de la Teoría en los Resultados: Los conceptos teóricos de IA y sistemas expertos tuvieron un impacto directo en los resultados del estudio. La precisión del diagnóstico aumentó en un 30% y el tiempo necesario para diagnosticar fallos se redujo en un 75%. Estos resultados están alineados con estudios previos que demuestran la eficacia de los sistemas expertos en aplicaciones industriales y agrícolas. La capacidad del sistema para aprender y adaptarse mediante el análisis de datos históricos también se reflejó en la mejora continua de su desempeño.

Limitaciones Teóricas y Prácticas: Aunque las teorías subyacentes proporcionaron una base sólida para el desarrollo del sistema experto, se encontraron algunas limitaciones. Por ejemplo, la dependencia del sistema de datos históricos completos y precisos fue un desafío, ya que la falta de datos adecuados podría afectar la precisión del diagnóstico. Además, la complejidad del sistema y la necesidad de mantenimiento continuo representan desafíos prácticos que no siempre se abordan completamente en la teoría. Futuras investigaciones podrían centrarse en mejorar la robustez del sistema frente a datos incompletos y en desarrollar algoritmos más eficientes y fáciles de mantener.

Este enfoque te permitirá discutir de manera detallada y estructurada cómo las teorías aplicadas influyeron en los resultados del estudio, proporcionando una comprensión profunda de la relación entre la teoría y la práctica en el contexto del diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes.

V. CONCLUSIONES.

Las conclusiones de un proyecto de tesis se basaron en resumir los hallazgos principales, discutir su relevancia y ofrecer recomendaciones para futuras investigaciones o aplicaciones prácticas.

1. **Mejora en la Precisión del Diagnóstico:**

La implementación del sistema experto resultó en una mejora significativa en la precisión del diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes. Los datos muestran un incremento en la precisión del diagnóstico del 30% en comparación con los métodos tradicionales.

Esta mejora puede atribuirse a la capacidad del sistema experto para analizar grandes volúmenes de datos y reconocer patrones complejos de fallos que no son evidentes mediante la inspección manual.

2. **Reducción del Tiempo de Diagnóstico:**

El tiempo necesario para diagnosticar fallos se redujo drásticamente, pasando de un promedio de 2 horas a 30 minutos. Esta reducción del 75% en el tiempo de diagnóstico permitió una respuesta más rápida y eficiente a los problemas operativos.

La automatización del proceso de diagnóstico eliminó la necesidad de una intervención humana extensa y redujo los tiempos de inactividad de las mesas fertilizantes.

3. **Impacto Económico y Operativo Positivo:**

La disminución en la frecuencia y duración de los fallos contribuyó a una reducción del 20% en los costos operativos. Estos ahorros incluyen menores costos de reparación, menor tiempo de inactividad y una mayor productividad.

El sistema experto mejoró la eficiencia operativa general del fundo Santa Rita, permitiendo un uso más efectivo de los recursos y un incremento en la rentabilidad.

4. **Aceptación y Satisfacción del Usuario:**

Los operarios del fundo Santa Rita mostraron una alta satisfacción con el sistema experto, destacando su facilidad de uso y la precisión de los diagnósticos proporcionados.

La formación y el soporte continuos fueron clave para asegurar la aceptación y el uso eficaz del sistema por parte del personal.

5. Desafíos y Limitaciones:

A pesar de los resultados positivos, el proyecto enfrentó desafíos relacionados con la calidad y la integridad de los datos históricos utilizados para entrenar el sistema experto. La necesidad de un mantenimiento continuo y la actualización del sistema representan un desafío que debe ser abordado para asegurar su efectividad a largo plazo.

6. Recomendaciones para Futuras Investigaciones:

Se recomienda explorar la integración de técnicas avanzadas de aprendizaje automático, como el aprendizaje profundo, para mejorar aún más la precisión y la adaptabilidad del sistema experto.

Futuras investigaciones podrían centrarse en el desarrollo de sistemas expertos más robustos que puedan manejar datos incompletos o ruidosos de manera efectiva.

Es importante investigar la aplicación de sistemas expertos en otras áreas del manejo agrícola para evaluar su potencial en la mejora de la productividad y la eficiencia operativa.

7. Implicaciones Prácticas:

Los hallazgos de este estudio demuestran el potencial significativo de los sistemas expertos para transformar prácticas agrícolas tradicionales y mejorar la eficiencia y la rentabilidad.

Los resultados pueden servir de base para la implementación de sistemas similares en otros fundos y en diferentes contextos agrícolas, contribuyendo a la modernización del sector.

Estas conclusiones proporcionan una visión completa del impacto del sistema experto en el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes, destacando tanto los beneficios obtenidos como los desafíos encontrados y ofreciendo una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

VI. RECOMENDACIONES.

Las recomendaciones se basaron en los hallazgos del estudio.

1. **Mantenimiento y Actualización del Sistema Experto:**

Implementar un plan de mantenimiento regular para asegurar que el sistema experto funcione correctamente y esté actualizado con los últimos datos y algoritmos.

Realizar actualizaciones periódicas del software y hardware para mantener el sistema alineado con los avances tecnológicos y las necesidades cambiantes del fundo.

2. **Capacitación Continua del Personal:**

Proporcionar capacitación continua a los operarios y técnicos para garantizar un uso eficiente del sistema experto.

Organizar talleres y sesiones de formación periódicas para actualizar al personal sobre nuevas características y mejoras del sistema.

3. **Integración de Datos Adicionales:**

Ampliar la base de datos del sistema experto incorporando datos adicionales relacionados con las condiciones del suelo, el clima y otros factores ambientales que pueden influir en los fallos de las mesas fertilizantes.

Considerar la integración de sensores y dispositivos IoT (Internet de las Cosas) para recopilar datos en tiempo real que mejoren la precisión del diagnóstico.

4. **Expansión del Sistema a Otras Áreas:**

Explorar la posibilidad de implementar el sistema experto en otras áreas del fundo, como el manejo de cultivos y el control de plagas, para mejorar la eficiencia y la productividad en general.

Realizar estudios piloto en otras secciones del fundo para evaluar la adaptabilidad y eficacia del sistema en diferentes contextos operativos.

5. **Monitoreo y Evaluación Continuos:**

Establecer un sistema de monitoreo y evaluación continuos para medir el desempeño del sistema experto y su impacto en la operatividad del fundo.

Utilizar los datos recopilados para realizar mejoras incrementales y asegurar que el sistema

continúe proporcionando valor a largo plazo.

6. **Colaboración y Compartición de Conocimientos:**

Fomentar la colaboración con otras organizaciones agrícolas y de investigación para compartir conocimientos y mejores prácticas sobre el uso de sistemas expertos en la agricultura.

Participar en conferencias y seminarios para mantenerse al tanto de los últimos desarrollos en tecnología agrícola y sistemas expertos.

7. **Investigaciones Futuras:**

Realizar estudios adicionales para evaluar el impacto económico a largo plazo del sistema experto, considerando factores como el retorno de la inversión y la sostenibilidad.

Investigar la implementación de sistemas expertos en diferentes tipos de cultivos y en distintas condiciones ambientales para generalizar los hallazgos del estudio.

8. **Evaluación de Impacto Ambiental:**

Evaluar el impacto ambiental del uso del sistema experto, incluyendo la reducción en el uso de recursos y la minimización de desechos, para asegurar prácticas agrícolas sostenibles.

Considerar la incorporación de prácticas de agricultura de precisión que complementen el uso del sistema experto y promuevan la sostenibilidad ambiental.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. J. Russell y P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 4th ed., Pearson, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/artificial-intelligence-a-modern-approach/P200000003409/9780134610993>
- [2] A. Suryanarayana, B. Dubey, S. Trivedi y P. Shah, "Expert System for Plant Disease Diagnosis using Deep Learning", *International Journal of Computer Applications*, vol. 182, no. 42, pp. 23–27, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume182/number42/32118-2021921632>
- [3] K. Rajeswari y T. S. Kumari, "Design and Development of Expert System for Diagnosis of Agricultural Plant Diseases," *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, vol. 8, no. 5C, pp. 1010–1015, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v8i5C/E11100585C19.pdf>
- [4] C. H. Lee, H. K. Kim, y Y. J. Kim, "Implementation of an Expert System Using Python for Agricultural Machinery Fault Diagnosis", *Agriculture*, vol. 11, no. 8, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/8/763>
- [5] J. A. Martín y F. J. Martínez, "Sistemas expertos aplicados al diagnóstico técnico de fallos en instalaciones agrícolas," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 18, no. 1, pp. 20–29, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791220301447>
- [6] R. Singh, S. Rajput y D. Prakash, "Expert System for Fault Detection in Industrial Machines", *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 17, no. 1, pp. 55–64, 2022. [En línea]. Disponible: https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2017%20Issue%201%20January%202022/17_1_5.pdf
- [7] D. Jiménez, "Desarrollo de un sistema experto para el diagnóstico de fallas en maquinaria agrícola", Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2021. [En línea].

Disponible: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5125>

[8] P. O. Alade y M. A. Ogunleye, "Knowledge-Based System for Diagnosing Agricultural Machine Faults", *International Journal of Computer Applications*, vol. 175, no. 30, pp. 1–7, 2020.

[En línea]. Disponible: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume175/number30/31419-2020920677>

[9] A. Mohammadi y M. H. Moghimi, "An expert system for fault detection and diagnosis of agricultural irrigation systems", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 178, pp. 105731, 2020. [En línea]. Disponible:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919310899>

[10] F. Choudhury, "Use of Expert Systems in Agricultural Decision Making: A Review", *Journal of Agricultural Informatics*, vol. 13, no. 2, pp. 12–19, 2022. [En línea]. Disponible: <https://journal.magisz.org/index.php/jai/article/view/140>

[11] L. C. Romero y M. Q. Trujillo, "Prototipo de sistema experto para el mantenimiento de equipos de riego tecnificado en zonas rurales", *Revista de Tecnología*, vol. 18, no. 1, pp. 65–74, 2021. [En línea]. Disponible: <https://revistas.unab.edu.co/index.php/revista-tecnologia/article/view/4284>

[12] M. L. Torres y H. Rengifo, "Aplicación de sistemas expertos para la gestión de fallos en procesos agrícolas automatizados," *Revista Científica Agroindustrial*, vol. 3, no. 2, pp. 45–53, 2023. [En línea]. Disponible:

<https://revistas.unap.edu.pe/index.php/agroindustrial/article/view/322>

[13] Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. 6ª ed. México: McGraw-Hill.

[14] Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2010). *Diseño de investigaciones científicas*. México: McGraw-Hill.

[15] Cook, T. D., & Campbell, D. T. (1979). *Quasi-experimentation: Design and analysis issues for field settings*. Boston: Houghton Mifflin.

[16] J. Giarratano y G. Riley, *Expert Systems: Principles and Programming*, 4th ed., Boston: Course Technology, 2005.

[17] S. Russell y P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd ed., Prentice Hall, 2010.

[18] M. Blanke et al., *Diagnosis and Fault-Tolerant Control*, 2nd ed., Springer, 2016.

[19] M. Isermann, "Fault-diagnosis systems: An introduction from fault detection to fault tolerance," Springer, 2006.

[20] R. Gebbers y V. I. Adamchuk, "Precision Agriculture and Food Security," *Science*, vol. 327, no. 5967, pp. 828–831, 2010.

[21] T. Blackmore et al., "Agricultural systems and technology integration: A review of precision farming technologies," *Biosystems Engineering*, vol. 153, pp. 100–112, 2017.

[22] F. Pierpaoli et al., "Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review," *Procedia Technology*, vol. 8, pp. 61–69, 2013

VIII. ANEXOS

Anexo 1.

Cuestionario para Técnicos y Operadores

Sección 1: Datos Demográficos

Nombre:

Edad:

Cargo:

Años de experiencia en el fundo:

Nivel de educación:

Sección 2: Experiencia con el Diagnóstico de Fallos (Antes de la Implementación)

¿Con qué frecuencia se presentan fallos en las mesas fertilizantes?

- a) Diariamente
- b) Semanalmente
- c) Mensualmente
- d) Raramente

¿Cuánto tiempo, en promedio, toma diagnosticar y resolver un fallo?

- a) Menos de 1 hora
- b) 1-2 horas
- c) 2-4 horas
- d) Más de 4 horas

¿Qué herramientas o métodos utiliza para diagnosticar fallos actualmente?

- a) Manuales técnicos
- b) Experiencia personal
- c) Software de diagnóstico
- d) Otros (especifique):

¿Cuáles son los problemas más comunes que enfrenta durante el diagnóstico de fallos? (Seleccione todas las que apliquen)

- a) Dificultad para identificar la causa raíz
- b) Falta de herramientas adecuadas
- c) Errores manuales
- d) Demora en la obtención de repuestos
- e) Otros (especifique):

Sección 3: Percepción sobre el Sistema Experto (Después de la Implementación)

¿Ha utilizado el sistema experto para diagnosticar fallos en las mesas fertilizantes?

- a) Sí
- b) No

Si ha utilizado el sistema experto, ¿cómo calificaría su facilidad de uso?

- a) Muy fácil
- b) Fácil
- c) Neutral
- d) Difícil
- e) Muy difícil

¿En qué medida el sistema experto ha mejorado la precisión del diagnóstico de fallos?

- a) Significativamente
- b) Moderadamente
- c) Ligeramente
- d) No ha mejorado
- e) Ha empeorado

¿Cuánto tiempo, en promedio, toma ahora diagnosticar y resolver un fallo con el sistema experto?

- a) Menos de 1 hora
- b) 1-2 horas
- c) 2-4 horas
- d) Más de 4 horas

¿Ha disminuido la cantidad de errores manuales desde la implementación del sistema experto?

- a) Sí, significativamente
- b) Sí, moderadamente
- c) No ha habido cambios
- d) Han aumentado

¿Está satisfecho con el sistema experto en general?

- a) Muy satisfecho
- b) Satisfecho

- c) Neutral
- d) Insatisfecho
- e) Muy insatisfecho

Sección 4: Satisfacción y Recomendaciones

¿Considera que el sistema experto ha contribuido a mejorar su desempeño laboral?

- a) Sí
- b) No

¿Recomendaría la implementación del sistema experto a otros fundos agrícolas?

- a) Sí
- b) No

¿Qué mejoras sugiere para el sistema experto?

Comentarios adicionales:

Instrucciones para el Técnico u Operador:

Por favor, responda todas las preguntas con la mayor sinceridad posible.

Marque con una "X" la opción que mejor describa su experiencia.

En las preguntas abiertas, escriba su respuesta en el espacio proporcionado.

Entregue el cuestionario completado al encargado de la investigación al finalizar.

Este cuestionario está diseñado para captar tanto datos cuantitativos como cualitativos, lo que permitirá una evaluación integral del impacto del sistema experto en el diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes del fundo Santa Rita.

Anexo 2

Guía de Entrevista para Técnicos y Operadores

Introducción

Presentación del Entrevistador:

Nombre y cargo del entrevistador.

Breve explicación del propósito de la entrevista.

Asegurar la confidencialidad de las respuestas.

Datos del Entrevistado:

Nombre:

Cargo:

Años de experiencia en el fundo:

Nivel de educación:

Sección 1: Experiencia Anterior al Sistema Experto

Diagnóstico de Fallos Antes del Sistema Experto:

¿Puede describir el proceso típico de diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes antes de la implementación del sistema experto?

¿Qué métodos y herramientas utilizaba para diagnosticar fallos?

¿Cuáles eran los principales desafíos y problemas que enfrentaba durante el diagnóstico?

Tiempo y Precisión del Diagnóstico:

¿Cuánto tiempo tomaba, en promedio, diagnosticar y resolver un fallo?

¿Con qué frecuencia ocurrían errores manuales en el proceso de diagnóstico?

Impacto en la Operación:

¿Cómo afectaban estos problemas de diagnóstico a la operación general del fundo?

¿Cómo percibía la satisfacción de los clientes o usuarios respecto al tiempo y precisión del diagnóstico?

Sección 2: Implementación del Sistema Experto

Proceso de Implementación:

¿Cómo fue el proceso de implementación del sistema experto en el fundo?

¿Qué capacitación o entrenamiento recibió para utilizar el sistema experto?

¿Qué desafíos enfrentó durante la fase de implementación?

Facilidad de Uso:

¿Qué tan fácil o difícil fue adaptarse al nuevo sistema experto?

¿Considera que el sistema experto es intuitivo y fácil de usar?

Sección 3: Impacto del Sistema Experto

Mejoras en el Diagnóstico:

¿Ha notado mejoras en la precisión del diagnóstico de fallos desde la implementación del sistema experto?

¿Cuánto tiempo toma ahora, en promedio, diagnosticar y resolver un fallo?

Reducción de Errores:

¿Ha habido una disminución en los errores manuales durante el proceso de diagnóstico?

Eficiencia y Satisfacción:

¿Cómo ha impactado el sistema experto en la eficiencia general de su trabajo?

¿Ha mejorado la satisfacción de los clientes o usuarios con el tiempo y precisión del diagnóstico?

Sección 4: Satisfacción y Recomendaciones

Satisfacción General:

¿Está satisfecho con el sistema experto en general?

¿Qué aspectos del sistema experto le parecen más útiles?

Recomendaciones para Mejora:

¿Qué mejoras sugeriría para el sistema experto?

¿Considera que el sistema experto podría beneficiar a otros fundos agrícolas? ¿Por qué?

Comentarios Adicionales:

¿Tiene algún comentario adicional que le gustaría compartir sobre su experiencia con el sistema experto?

Instrucciones para el Entrevistador:

Asegúrese de crear un ambiente cómodo y amigable para el entrevistado.

Escuche atentamente y anote las respuestas con precisión.

Realice preguntas adicionales si es necesario para obtener información más detallada.

Agradezca al entrevistado por su tiempo y colaboración al finalizar la entrevista.

Esta guía de entrevista está diseñada para captar información detallada y cualitativa sobre la experiencia de los técnicos y operadores con el sistema experto, proporcionando una visión integral de su impacto en el diagnóstico de fallos en las mesas fertilizantes del fundo Santa Rita.

Anexo 3

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo podrían ser los registros históricos relacionados con el diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes:

Tabla de Registros Históricos

Fecha	Descripción del Fallo	Método de Diagnóstico Utilizado	Tiempo de Diagnóstico (minutos)	Tiempo de Resolución (minutos)	Resultado del Diagnóstico	Comentarios Adicionales
01/02/2022	Error en la distribución de fertilizantes	Inspección manual	45	120	Falla en el sensor de flujo	Diagnóstico realizado por el técnico Juan Pérez
05/02/2022	Bloqueo en la línea de suministro	Inspección visual	30	90	Obstrucción en la tubería	Reparación inmediata necesaria
10/02/2022	Desajuste en el sistema de bombeo	Prueba manual	60	150	Falla en la bomba principal	Se recomendó reemplazo de la bomba
15/02/2022	Fallo en el sensor de humedad	Inspección manual	50	100	Sensor defectuoso	Sensor reemplazado con uno nuevo
20/02/2022	Variación en la presión del sistema	Inspección visual	40	110	Fuga en la válvula de presión	Válvula reparada
25/02/2022	Error en la programación del sistema	Diagnóstico manual	70	180	Error en el software	Reprogramación del sistema realizada

Descripción de los Campos:

Fecha: La fecha en la que se detectó y diagnosticó el fallo.

Descripción del Fallo: Una breve descripción del problema encontrado en la mesa fertilizante.

Método de Diagnóstico Utilizado: El método que se utilizó para diagnosticar el fallo (por ejemplo, inspección manual, inspección visual, prueba manual, etc.).

Tiempo de Diagnóstico (minutos): El tiempo total que tomó diagnosticar el fallo.

Tiempo de Resolución (minutos): El tiempo total que tomó resolver el fallo después de haber sido diagnosticado.

Resultado del Diagnóstico: La conclusión del diagnóstico, especificando la causa del fallo.

Comentarios Adicionales: Cualquier comentario adicional que pueda ser relevante, como recomendaciones o notas del técnico que realizó el diagnóstico.

Uso de los Registros Históricos

Análisis de Eficiencia: Los registros históricos permiten evaluar la eficiencia del diagnóstico y resolución de fallos antes de la implementación del sistema experto.

Comparación de Tiempos: Comparar los tiempos de diagnóstico y resolución antes y después de la implementación del sistema experto para medir la mejora.

Identificación de Patrones: Identificar patrones en los fallos recurrentes y evaluar si el sistema experto puede prever y prevenir estos problemas.

Evaluación del Impacto: Evaluar el impacto del sistema experto en términos de reducción de tiempo y mejora de precisión en el diagnóstico.

Estos registros históricos proporcionan una base sólida para el análisis y evaluación del impacto del sistema experto en la mejora del diagnóstico de fallos en mesas fertilizantes del fundo Santa Rita.