

Contribución a la integración de la fiabilidad y el mantenimiento en las flotas de tractores.

Contribution to the integration of reliability and maintenance in tractor fleets.

Rubén Patricio Alcocer Quinteros



Carrera de Mecánica

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-0366-5529>

José Knudsen González



Departamento Ingeniería Industrial

Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba

<https://orcid.org/0000-0002-6435-8728>

Rodger Benjamín Salazar Loor



Carrera de Mecánica

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-9406-9452>

Alcocer Quinteros, R. P., Knudsen González, J., & Salazar Loor, R. B. (2025). Contribución a la integración de la fiabilidad y el mantenimiento en las flotas de tractores. *Ingeniería E Innovación*, 13(1). <https://doi.org/10.21897/rii.3983>

Copyright: © 2025 Universidad de Cordoba. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el autor original y la fuente se acreditan.

Recibido: 05/05/2025

Aprobado: 12/06/2025

Publicado: 20/07/2025

RESUMEN

Para poder cumplir la estrategia de la Organización de las Naciones Unidas de incrementar la producción de alimentos, se deben elevar los rendimientos de la producción agrícola, lo que resulta imposible sin el desarrollo de la mecanización de los tractores. La presente investigación surge en analizar los principales resultados del estado del conocimiento en temáticas como la fiabilidad de los tractores, factores que afectan su operatividad, necesidad de la gestión del mantenimiento integral y uso de la inteligencia artificial (IA). Se empleó una metodología dialéctico-materialista que combinó métodos teóricos y empíricos, centrados en una revisión bibliográfica en bases de datos académicas. La investigación concluyó que en la mayoría de las aplicaciones de la IA en maquinaria agrícola están dirigidas a la operatividad de los equipos y no a las actividades relacionadas con su conservación de los mantenimientos técnicos y las reparaciones, crucial para la sostenibilidad y la producción.

Palabras clave: Fiabilidad en tractores; Mantenimiento en tractores; Aplicación Inteligencia Artificial en integración fiabilidad mantenimiento técnico

ABSTRACT

To fulfill the United Nations strategy of increasing food production, agricultural yields must be increased, which is impossible without the development of tractor mechanization. This research aims to analyze the main results of the state of knowledge on topics such as tractor reliability, factors affecting their operation, the need for comprehensive maintenance management, and the use of artificial intelligence (AI). A dialectical-materialist methodology was used that combined theoretical and empirical methods, focusing on a bibliographic review of academic databases. The research concluded that most AI applications in agricultural machinery are directed at the operation of the equipment and not at activities related to its maintenance, technical maintenance, and repairs, which are crucial for sustainability and production.

Keywords: Tractor reliability; Tractor maintenance; Application of artificial intelligence in the integration of reliability and technical maintenance

INTRODUCCIÓN

En los países en desarrollo se necesita incrementar la producción de alimentos a partir de las políticas agrarias que apoyen a la producción agrícola local para alimentar a la población. Esto como parte de la estrategia de soberanía alimentaria (Cordero-Ahiman, 2022) que desde su discusión en la Cumbre Mundial de la Alimentación en 1996 tiene trazada la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Para poder cumplir dicha estrategia se deben elevar los rendimientos y la eficiencia de la producción agrícola, lo que resulta imposible sin el desarrollo de la mecanización (González-Cueto, 2017)

La mecanización agrícola incluye la maquinaria agrícola, los sistemas de riego, los sistemas de cosecha y postcosecha y las fuentes energéticas que sustentan la mayor parte de los trabajos en la agricultura. Por ello, es importante una adecuada planificación de los recursos y maquinarias que se encuentran vinculados a esta actividad, para evitar las pérdidas económicas, poder anticipar las sobreproducciones y tener un adecuado control sobre las maquinarias.

El elemento más importante en la mecanización agrícola es el tractor, dada su capacidad para accionar y tirar de una gran cantidad de aperos y máquinas utilizadas en casi todas las operaciones agrícolas (González-Cueto, 2017)

Según (Acevedo-Pérez, 2017) la norma cubana NC 92-10: 1978 plantea que la fiabilidad es la propiedad que tiene el objeto de cumplir las funciones a él asignadas, conservando en el tiempo sus indicadores de explotación entre límites permisibles, en correspondencia con los regímenes establecidos de mantenimiento, reparación, conservación y transportación. Todo lo cual, contribuye a aumentar el rendimiento, la eficiencia y la seguridad del tractor.

Diversos autores como Pérez (1995), Daquinta (1998); Daquinta (2004), Acevedo Pérez (2011), Acevedo Pérez (2017) dedicados al estudio de la fiabilidad de la maquinaria agrícola, han coincidido en que la fiabilidad de explotación (seguridad técnica y tecnológica), en gran medida depende de la correcta realización de los mantenimientos técnicos y reparaciones. Las maquinarias agrícolas durante su explotación se enfrentan a constantes variaciones de cargas, lo que conduce a desajustes de sus elementos y a la variación de las regulaciones de trabajo con la correspondiente afectación de los parámetros tecnológicos, de calidad, la aparición de fallos y, por ende, parada por roturas. Todo esto afecta los sistemas de las máquinas, interrumpe el ritmo de trabajo, limita el rendimiento y eleva los gastos directos de explotación, sobre todo, por concepto de consumo de piezas de repuesto, paradas y reparación, de ahí la importancia de conocerlos.

Para que el trabajo de los tractores sea eficiente y sostenible en el tiempo es necesario la realización de tareas de asistencia técnica a estos medios de producción, las cuales se desarrollan con el objetivo de mantener su capacidad de trabajo. Es fundamental que los equipos laboren sin roturas y rindan al máximo de sus potencialidades técnicas. Desde el punto de vista económico es deseable una alta fiabilidad de los tractores para reducir los costos totales, ya que el costo anual para mantener ciertos equipos y sistemas en funcionamiento ha llegado a ser varias veces

mayor al costo original (Shkiliova, 2007), pero debido al alto nivel de roturas e interrupciones en el servicio, y al propio envejecimiento de la maquinaria se hace complejo llegar a este estado deseado.

La fiabilidad de los tractores en el sector agrícola es un factor crítico que incide directamente en la productividad y eficiencia de las operaciones agrícolas (Acevedo-Pérez, 2017; Smith, 2018). Según estudios, la gestión de la fiabilidad en maquinaria agrícola permite reducir costos de mantenimiento y evitar interrupciones en los procesos productivos (García Rodríguez, 2019). Autores como Pérez & López (2017) destacan que el monitoreo sistemático de indicadores como el Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) y la Tasa de Fallos son fundamentales para evaluar el desempeño de los equipos.

Esta investigación, al abordar una brecha crítica identificada en la literatura, busca contribuir en el campo de la fiabilidad y la gestión del mantenimiento a la integración de ambos aspectos en la toma de decisiones utilizando la inteligencia artificial (IA). Esto se refleja en la falta de integración entre los métodos tradicionales de evaluar y analizar la fiabilidad en los tractores agrícolas y la gestión del mantenimiento de dichos equipos, particularmente en países en desarrollo. Esto último dado fundamentalmente por la escasez de recursos financieros necesarios en estos países para poder lograr esta integración y la necesidad de incluir técnicas de inteligencia artificial en la toma de decisiones que contribuyan al ahorro de recursos.

Por ello, esta investigación tiene como objetivo analizar los principales resultados del estado del conocimiento en temáticas relacionadas con la fiabilidad de los tractores, principales factores que afectan su operatividad y estado técnico, necesidad de la gestión del mantenimiento integral a estos equipos y uso de la IA en la integración fiabilidad mantenimiento técnico a los tractores.

1. METODOLOGÍA

Como método general de la investigación científica se utilizó el Dialéctico-Materialista, que permitió la selección de los métodos de los niveles teórico y empírico.

Los métodos teóricos fueron: histórico-lógico utilizado en la revisión de los documentos afines con el uso de la IA en la integración fiabilidad mantenimiento técnico a los tractores, con el propósito de conocer su estado actual, inductivo-deductivo para determinar los fundamentos teóricos de la investigación, así como los conceptos y teorías relacionados con la fiabilidad en los tractores y los factores que influyen en la misma.

Como método empírico fue empleado la revisión bibliográfica que permitió la búsqueda en documentos que enriquecen el material de trabajo.

Para la búsqueda de bibliografía sobre estas temáticas fueron consultadas las cuatro grandes bases de datos: Google Académico, Science Direct, Emerald Insigth y Taylor and Francis. Se emplearon como palabras claves los términos “fiabilidad en tractores”, “factores que influyen en la fiabilidad de los tractores”, “mantenimiento en tractores”, “Aplicación Inteligencia Artificial

en integración fiabilidad mantenimiento técnico. La búsqueda se realizó en idioma inglés y en español.

2. RESULTADOS

Importancia y factores que influyen en la de fiabilidad de los tractores agrícolas

La fiabilidad de un tractor se define como la capacidad para mantener sus parámetros técnicos y de explotación dentro de límites permisibles durante su vida útil, bajo condiciones operativas específicas. Esto incluye: trabajo sin fallos (funcionamiento continuo sin interrupciones imprevistas), durabilidad (resistencia al desgaste en entornos agresivos: humedad, polvo, cargas variables), mantenibilidad (facilidad para reparar o reemplazar componentes críticos, conservabilidad (preservación del estado técnico durante periodos de inactividad).

Según Xajil (2024) la fiabilidad en tractores agrícolas se define como la capacidad de operar sin fallos bajo condiciones exigentes, minimizando tiempos de inactividad y costos de reparación. Este concepto integra: durabilidad de componentes (resistencia mecánica ante cargas de trabajo intensivas), predictibilidad de fallos (detección temprana de desgastes mediante tecnologías avanzadas), sostenibilidad operativa (eficiencia energética y reducción del impacto ambiental). Según estudios de Coronel (2019), la fiabilidad integra dimensiones económicas y operativas, las cuales debe evaluarse mediante gastos de tiempo (fiabilidad operativa cronometrada) y gastos de recursos (fiabilidad operativa de costo), considerando mano de obra, repuestos y materiales.

La importancia de la fiabilidad en la explotación agrícola está dada por:

- a) Impacto económico: dado por la reducción de costos, disminución de los gastos en repuestos y las pérdidas por fallos.
- b) Productividad y sostenibilidad: dadas por la sostenibilidad ambiental a partir de la reducción del CO₂ emitido a la atmósfera.
- c) Seguridad y gestión avanzada

La fiabilidad del parque de tractores es un factor determinante para la eficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola. Su estudio y mejora requieren un enfoque integral que considere las duras condiciones operativas, la antigüedad del parque, las limitaciones materiales, la calidad del mantenimiento aplicado y la gestión técnica basada en datos. Implementar metodologías como el análisis de datos de fallos y la gestión del mantenimiento, adaptadas a las condiciones específicas de los países en vías de desarrollo, es fundamental para optimizar recursos, reducir costos operativos y garantizar la disponibilidad necesaria de los tractores durante las operaciones agrícolas.

La fiabilidad en tractores agrícolas es un factor sistémico que integra ingeniería, gestión económica y sostenibilidad. Se ha demostrado que su mejora reduce costos operativos hasta en 40%, aumenta la disponibilidad de máquinas y minimiza impactos ambientales. Los enfoques claves para lograr esto son: el diagnóstico técnico obligatorio, la formación de operadores y la selección de piezas críticas.

Según Bravo López (2018) en una zafra azucarera la fiabilidad de los tractores agrícolas puede garantizar tres aspectos claves. En primer lugar, contribuye al éxito de la campaña azucarera ya que permite el cumplimiento de los plazos críticos en el desarrollo de los planes de corte, alza y transporte de la caña. En segundo tributa a la optimización de costos ya que evita fallos durante las operaciones requeridas, que generan altos costos por reparaciones de emergencia, pérdida de producción, sobrecarga de otros equipos y consumo ineficiente de combustibles y lubricantes (Mena Fernández, 2020). El tercer aspecto es una componente fundamental llamada disponibilidad operativa (DispOp) de la flota de tractores, la cual reduce drásticamente la capacidad productiva real de la empresa ante una baja fiabilidad (García Rodríguez M. P., 2019).

Varios han sido los autores (Barabady, 2008; Ramírez Valle, 2014; González Díaz, 2016; Pérez Consuegra et al., 2017; Jardón-Acosta et al., 2020; Suárez Hernández, 2021; Cabrera Suárez et al., 2022) que han abordado los factores que influyen en la fiabilidad de los tractores. En lo adelante se comentan algunos de ellos.

- Antigüedad y estado técnico (aumenta la probabilidad de fallos).
- Condiciones operativas (acelera el desgaste de componentes).
- Calidad del mantenimiento técnico: prácticas deficientes (lubricación inadecuada, ajustes incorrectos, diagnósticos tardíos) reducen significativamente la fiabilidad.
- Disponibilidad de repuestos: obliga a improvisaciones y alarga los tiempos de reparación, afectando la fiabilidad global (especialmente marcas antiguas o de difícil acceso).
- Capacitación del personal: la habilidad de operadores y mecánicos para utilizar correctamente los equipos y realizar mantenimientos adecuados impacta directamente en la aparición de fallos.
- Gestión técnica: la implementación de sistemas de gestión de mantenimiento basados en fiabilidad (RCM - Reliability Centered Maintenance) y el análisis de datos de fallos son aún incipientes en muchas empresas agroindustriales.

Las dimensiones clave de la fiabilidad son:

- a) Indicadores cuantitativos: Recurso promedio en moto-horas hasta el fallo, parámetro del flujo de fallos y coeficiente de fiabilidad de explotación (CFE). El CFE combina disponibilidad técnica y costos de mantenimiento Grimaldos Pérez. (2023) y Coronel (2019) proponen su cálculo en dos variantes:
 - $CFE = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo operativo} + \text{Tiempo de reparación}}$, pesos
 - $CFE = \frac{\text{Costos operativos}}{\text{Costos operativos} + \text{Costos de reparación}}$, pesos.
- b) Factores que influyen en la fiabilidad: diseño y calidad de fabricación, condiciones de explotación y mantenimiento técnico.
- c) Tendencias tecnológicas y fiabilidad futura: tractores eléctricos (reducen el mantenimiento), generadores acoplados a tractores y diagnóstico predictivo (sensores IoT y IA previenen fallos mediante análisis de vibraciones y temperatura, clave para reducir fallos).

Otro de los criterios referidos a la fiabilidad de los tractores es el de Ramírez Valle & Santana Sotolongo (2014) que plantea su dependencia de tres elementos básicos (edad, mantenimiento,

condiciones de operación), los cuales están influenciados por los factores técnicos y de diseño, operativos y de mantenimiento, ambientales y de explotación y factores organizativos

En resumen, la fiabilidad del tractor depende de: (1) optimizar diseño para entornos tropicales, (2) capacitar técnicos en diagnóstico, (3) gestionar repuestos con enfoque en piezas críticas, y (4) implementar protocolos sistemas de mantenimiento técnico y reparación rigurosos.

Los métodos para evaluar y mejorar la fiabilidad son:

1. Indicadores claves: Medición de Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF - Mean Time Between Failures), Tasa de Fallos (λ - Lambda), Disponibilidad (A), y análisis de causas raíz de fallos recurrentes (Jardón-Acosta et al., 2020; García Rodríguez M. P., 2019)
2. Análisis de datos históricos: Recolectar y analizar sistemáticamente los registros de fallos, reparaciones y mantenimientos para identificar patrones, componentes críticos y causas principales (Barabady, 2008).
3. Modelos de fiabilidad: Aplicación de distribuciones estadísticas (como Weibull) para modelar el comportamiento de los fallos y predecir la vida útil residual de componentes o sistemas (Meeker, 1998).
4. Mantenimiento basado en condición (CBM): Uso de técnicas como análisis de vibraciones, termografía o análisis de lubricantes para detectar fallos incipientes y planificar intervenciones antes de que ocurra la falla catastrófica (Daquinta A. G., 1998)
5. Programas de mantenimiento proactivo: Optimizar los planes de mantenimiento preventivo basándose en el análisis de fiabilidad y las condiciones reales de operación, no solo en horas calendario (Jardón-Acosta et al., 2020).

El diagnóstico y monitoreo del estado técnico de los tractores es crucial para garantizar su fiabilidad, eficiencia, seguridad y vida útil.

Tradicionalmente tanto en el diagnóstico como en el monitoreo del estado técnico de los tractores se han empleado algunos métodos y técnicas que hoy día pueden considerarse tradicionales dado fundamentalmente por el tiempo de existencia que tienen. Entre estas técnicas y métodos se destacan: diagnóstico por vibraciones, telemetría, termografía infrarroja (análisis térmico), revisión de los hodómetros, tribología (análisis de aceites y fluidos), diagnóstico electrónico (lectura de códigos de fallo - OBD). Todas de una u otra forma han sido aplicadas por técnicos y especialistas para poder conocer el estado técnico de los tractores en un momento dado a partir de las condiciones de explotación a las que está siendo sometido el equipo.

El diagnóstico y monitoreo efectivo de un tractor requiere un enfoque multifacético. La elección depende de la criticidad del componente, la disponibilidad de equipos, el costo y la experiencia técnica. La tendencia es hacia la integración de sensores, el monitoreo continuo (CBM), el análisis de riesgos para optimizar el mantenimiento y maximizar la disponibilidad de los tractores y el empleo de la inteligencia artificial (IA) en la toma de decisiones.

Varios han sido los autores (González Díaz, 2016; Pérez Consuegra et al., 2017; Suárez Hernández, 2021; Cabrera Suárez et al., 2022) que han abordados las barreras que existen para mantener la fiabilidad de los tractores. Estas limitaciones son:

- Restricciones económicas: Limitaciones de financiamiento para adquisición de equipos nuevos, repuestos de calidad y tecnologías avanzadas de diagnóstico y mantenimiento (Pérez Consuegra et al., 2017).
- Diversidad de marcas y modelos: Parques heterogéneos con tractores de diferentes fabricantes y épocas, complicando la gestión de repuestos, la capacitación y la estandarización de procedimientos (González Díaz, 2016).
- Infraestructura y logística: Dificultades en la infraestructura de talleres y en la logística para obtener repuestos y herramientas especializadas de manera oportuna (Suárez Hernández, 2021).
- Necesidad de innovación: Desarrollo de soluciones locales (ingeniería inversa, adaptaciones, fabricación nacional de repuestos) y optimización de recursos disponibles para mantener la operatividad (Cabrera Suárez et al., 2022).

Es importante destacar que estas barreras no sólo afectan la fiabilidad, sino que repercuten de forma directa en la realización con calidad de los mantenimientos técnicos a los tractores. Sistemas de mantenimiento planificado de asistencia técnica a tractores y máquinas agrícolas Mundialmente se han generalizado tres filosofías de gestión del mantenimiento (Rodríguez Pérez et al., 2013):

1. Mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM, Reliability Centered Maintenance)
2. Mantenimiento proactivo o Análisis Causa Raíz (ACR)
3. Mantenimiento Productivo Total (TPM, Total Productive Maintenance).

Existiendo paralelamente a estas filosofías diversos tipos o políticas de mantenimiento: Según Alén (2009), Daquinta (2004), SIMA (2010), Fernández (2012), Rodríguez Pérez et al. (2013) y Xajil Cuy (2024), el mantenimiento preventivo se diseñó con la idea de prever y anticiparse a los fallos de las máquinas y equipos, utilizando para ello una serie de datos sobre los distintos sistemas y sub-sistemas e inclusive partes.

Considerando lo expresado por los autores mencionados, se puede concluir, que un sistema preventivo planificado de asistencia técnica a tractores es un conjunto de operaciones que se le realiza a la maquinaria con el único objetivo de mantener la maquinaria apta para las labores que se le asignan y lograr un aumento de su vida útil previendo los desgastes anticipados. Desde hace muchos años para la maquinaria agrícola están establecidos los sistemas de mantenimiento técnico y reparaciones diario, periódicos y después de campañas.

Los mantenimientos técnicos, en sentido general, Fernández et al. (2012) los clasifica en: chequeo técnico, mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo. El orden en que se debe desarrollar el mantenimiento, así como las condiciones de explotación de la máquina en cuestión, son establecidas por el fabricante y aparecen en las recomendaciones e

instrucciones de la fábrica productora.

En resumen, un correcto plan de mantenimiento puede ayudar a aumentar el rendimiento, la eficiencia y la seguridad del equipo. En general, es esencial para garantizar que el equipo reciba el mantenimiento adecuado para prolongar su vida útil, evitar reparaciones costosas y riesgos de seguridad (Bea Quiñónez, 2024).

Métodos y técnicas de diagnóstico y monitoreo del estado técnico de tractores

El diagnóstico y monitoreo del estado técnico de los tractores es crucial para garantizar su fiabilidad, eficiencia, seguridad y vida útil. En la tabla 1 se relacionan algunas técnicas, encontradas en la literatura nacional e internacional.

Tabla 1.

Algunos métodos y técnicas empleadas en el diagnóstico y monitoreo del estado técnico de los tractores

Autores	Año	Método o técnica	Contenido
Kim et al.	2024	Análisis de gases de escape	Permite la construcción del inventario de emisiones a través del cálculo de emisiones en condiciones reales y sugiere la necesidad de implementar el factor de emisión aplicado actualmente.
Mafla C. et al	2022	Termografía Infrarroja (Análisis Térmico)	Propuesta de metodología orientada al mantenimiento conectado
Roncal Soto, L. J.	2022	Determina el horómetro de los tractores	Se aplicó un procedimiento de mantenimiento preventivo
Tavara Vega, L. G.	2024	Análisis de riesgos	Propone una metodología para desarrollar el mantenimiento a tractores basado en el análisis de riesgo
Peralvo Clavón, M. A.	2024	Aplica el método de Kant	Realiza un análisis a los indicadores de productividad de los tractores
Bea Quiñónez, J. A.	2024	Encuestas, entrevistas, observación e Inductivo Deductivo	Establecer la fiabilidad de la maquinaria (tractores)

Tendencias actuales de las tecnologías y herramientas para el análisis de fiabilidad en tractores

Para la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones agrícolas se debe trabajar en función de la optimización de la vida útil de tractores agrícolas como un factor crítico a considerar. Como consecuencias de esto, surgen las tendencias actuales de las tecnologías y herramientas para el análisis de fiabilidad en tractores. Entre las más difundidas están:

1. Automatización y diagnóstico predictivo con IA (Smith, 2018): incluyen la utilización de sensores inteligentes con el empleo de algoritmos de machine learning para predecir fallos y las alertas proactivas (Sistemas como John Deere Operations Center que generan notificaciones sobre desgaste de piezas, reduciendo un 30% los tiempos de inactividad).
2. Integración IoT y plataformas de gestión: incluyen la conectividad multisistema (tractores sincronizados con drones, estaciones meteorológicas y satélites que permiten ajustar operaciones en tiempo real) y plataformas en la nube (que analizan datos históricos utilizando el CNH Industrial's FarmSight para recomendar mantenimientos preventivos).
3. Diseños sostenibles y motores de bajas emisiones: utilizando la transición a energías limpias (empleando motores eléctricos/híbridos - Massey Ferguson MF 3).
4. Ergonomía y seguridad operativa: empleando sistemas antifatiga (con sensores biométricos que alertan sobre somnolencia del operador, previniendo accidentes que dañan el tractor) y cabinas inteligentes (pantallas táctiles con diagnósticos en tiempo real - Fendt VarioGuide).

Para poder implementar estas tendencias se requiere enfrentar los desafíos futuros, los cuales incluyen la accesibilidad económica (tecnologías como IA tienen altos costos iniciales, limitando su adopción en pequeñas granjas) y la formación de operadores (que requiere capacitación en herramientas complejas y en la interpretación de datos).

La fiabilidad en tractores agrícolas evoluciona hacia un paradigma predictivo y conectado, donde IA, IoT y motores sostenibles son pilares. La integración de herramientas analíticas avanzadas no solo optimiza mantenimientos, sino que redefine los estándares de calidad en la maquinaria agrícola.

La optimización de la vida útil de los tractores agrícolas depende de un enfoque multifactorial: innovación en diseño (ejemplo: neumáticos, transmisiones), gestión proactiva del mantenimiento (repuestos originales, predictivo) y capital humano capacitado. La tendencia hacia la digitalización y sostenibilidad asegurará que estas máquinas no solo duren más, sino que operen con máxima eficiencia.

Según (Sood et al., 2022) el desarrollo de la agricultura se logra a través de diversas técnicas y dispositivos que generan el aprendizaje automático, como la integración de drones para la supervisión en tiempo real, tractores y maquinaria especializada con sistemas de navegación

satelital para un mejor rendimiento y cuidado de los cultivos (Cook, 2020). Todo esto influye de manera positiva a la economía de las empresas agrícolas impulsando el crecimiento de la IA, buscando un mayor impacto en las economías emergentes.

La tecnificación de la agricultura con la tecnología 4.0 abrió las puertas para la adopción de la IA por parte de la industria agrícola, mejorando la producción, el control y uso eficiente del agua obteniendo mejores resultados con tecnología inteligente no solo para mejorar operacionalmente, sino también para hacer frente a los diferentes desafíos buscando el desarrollo del sector agrícola (véase tabla 2).

El empleo de estas nuevas tecnologías implica utilizar el aprendizaje automático (ML), mediante el procesamiento de imágenes, sistemas de sensores infrarrojos para el análisis del suelo y drones de monitoreo, con lo que se obtiene información mediante el IoT para su procesamiento (Wang et al., 2021), y de esta manera optimizar la toma de decisiones sobre los objetivos más razonables y asequibles para las empresas agrícolas contestando tres preguntas: ¿Qué vamos a cultivar?, ¿dónde lo vamos a realizar? y ¿cómo lo vamos a hacer? La tecnología inteligente logra información precisa, rápida y eficiente, la cual reta los desafíos en la agricultura (Nie et al., 2022).

Tabla 2. Tecnologías inteligentes para los desafíos de la agricultura.

Desafíos de la agricultura	Tecnología inteligente
Administración del suelo	Robótica, drones, realidad aumentada, IoT
Administración de los cultivos	Deep learning, realidad aumentada, big data
Administración del agua	Robótica, Automatización, Machine learning (ML), Redes neuronales, IoT, Big data
Fertilizantes inteligentes	IoT, Big data
Administración de enfermedades	Deep learning, IoT
Cambio climático	Deep learning, Machine learning, IoT, Big data

Fuente: Oliveira y Silva (2023) y Macías et al. (2024).

La inteligencia artificial en la agricultura ha demostrado que puede beneficiar gran parte de las etapas de producción ente sector. Desde la automatización de procesos hasta la optimización de cultivos y la predicción de tendencias climáticas. La IA ofrece una gama de herramientas que permiten a los productores y empresas agroindustriales mejorar su eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad (Mares et al., 2025).

Resumiendo, la mayoría de las investigaciones relacionadas con las aplicaciones de la IA en la agricultura, y en particular en los tractores agrícolas está dirigidas a la utilización de los mismos en las labores agrícolas y no hacia su conservación o disponibilidad técnica para enfrentar estas acciones. Por otra parte, al igual que con las tendencias mencionadas anteriormente la IA requiere de elevados recursos financieros fundamentalmente en su inversión inicial, lo cual se hace difícil en los países en vías de desarrollo. Estos deben buscar otras vías más económicas para lograr beneficiarse con la implementación de estas tecnologías combinándolas con las

tecnologías tradicionales.

Discusión

Hasta el momento se ha podido demostrar que tanto los métodos, las herramientas de diagnóstico y monitoreo, así como las técnicas para evaluar la fiabilidad y la gestión de los mantenimientos técnico y las reparaciones en los tractores agrícolas han sido temas ampliamente estudiados en la literatura científica. Sin embargo, existen brechas en la integración de estos aspectos que requieren seguir siendo estudiadas cuando se observan las tendencias actuales de las tecnologías y herramientas para el análisis de fiabilidad en tractores.

En la mayoría de las aplicaciones de la IA en la maquinaria agrícola están dirigidas a la operatividad de estos equipos y no a las actividades relacionadas con su conservación, es decir, los mantenimientos técnicos y las reparaciones. Es precisamente por esto que en la presente investigación se propone seguir investigando en estos temas para lograr que se utilice la IA en la integración fiabilidad mantenimiento técnico en los tractores.

CONCLUSIONES

Una vez concluida la revisión bibliográfica se pueden destacar las conclusiones siguientes:

1. Tanto la fiabilidad en el transporte automotor como sus particularidades en los tractores agrícolas han sido temas muy estudiados en la bibliografía nacional e internacional. Con el transcurso de los años se observa que tanto los métodos como las técnicas empleadas en su estudio se van desarrollando de forma conjunta con el avance de las tecnologías. Es por eso que en la actualidad se ha convertido en un estudio que va acompañado de un nivel de inversión que no todos los países en desarrollo son capaces de asumir como es el caso de Cuba.
2. Los métodos y técnicas para evaluar y mejorar la fiabilidad se han ido desarrollando en la medida en que se han desarrollado las tecnologías. Estas incluyen la digitalización y sostenibilidad no sólo para garantizar que los tractores duren más, sino para que operen con máxima eficiencia. Esto implica que se debe continuar investigado en estos aspectos para lograr introducir los avances tecnológicos actuales en esta histórica filosofía.
3. En la actualidad la IA ofrece una gama de herramientas que permiten a los productores y empresas agroindustriales mejorar su eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad. Para poder implementar las mismas se requieren de recursos financieros, los cuales en los países en vías de desarrollo no pueden ser asimilados por los productores. Esto obliga a adoptar variantes o alternativas que permitan ir introduciendo estas nuevas tecnologías combinándolas con las tecnologías tradicionales para poder controlar los costos de estas en valores permisibles.

REFERENCIAS

1. Acevedo Pérez, M. (2011). La fiabilidad de la técnica agrícola. Problemas y reflexiones. Santa Clara, Cuba,,: Ed. Feijoo.
2. Acevedo-Pérez, M. G.-Á.-T.-D.-C.-S. (2017). Índices de fiabilidad de tractores XTZ-150K-09 en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú. *Ingeniería Agrícola*, 45–50. Obtenido de <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/501>
3. Alén, C. (2009). Modelo de cálculo de fiabilidad del proceso de inspección de mercado. Tesis en opción del grado científico de Doctor. Universidad Politécnica de Madrid.
4. Barabady, J. &. (2008). Reliability analysis of mining equipment: A case study of a crushing plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran. *Reliability Engineering & System Safety*, 647–653.
5. Bea Quiñónez, J. A. (2024). Diagnóstico de la existencia y uso de las maquinarias y aperos agrícolas en el Cantón Urdaneta, Provincia de Los Ríos en el año 2024. Obtenido de <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/16025/PI-UTB-FACIAG-AGRONOMIA-REDISE%c3%91ADA-000034.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Bravo López, C. (2018). Gestión del mantenimiento en la agroindustria azucarera cubana: retos y perspectivas. Ponencia en Evento Científico Técnico Azucarero.
7. Cabrera Suárez et al., Y. R. (2022). Estrategia para la gestión del mantenimiento de tractores agrícolas en condiciones de escasez de recursos. *Revista Ingeniería Agrícola*,, 45-54.
8. Cook, P. &. (2020). Artificial Intelligence in Agribusiness is Growing in Emerging Markets.: <https://policycommons.net/artifacts/1279703/artificial-intelligence-in-agribusiness-is-growing-in-emerging-markets/1870529/>
9. Cordero-Ahiman, O. V. (2022). Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria de Ecuador. *Revista Chilena de Nutricion*, 49, S34-S38.
10. Coronel, C. I. (2019). Cálculo de los índices de fiabilidad de explotación de la técnica agrícola. *Revista Ciencias Técnicas*, 1-9.
11. Daquinta, A. G. (1998). Valoración integral de la fiabilidad de las cosechadoras de caña KTP. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 81-84.
12. Daquinta, L. (2004). Mantenimiento y reparación de la maquinaria agrícola.
13. Fernandez Sanchez et al., M. &. (2012). Validación de un método para el cálculo de

- indicadores de mantenimiento. *Rev Cie Téc Agr*, 72-79.
14. García Rodríguez, M. &. (2019). Análisis de la disponibilidad operacional de los tractores Belarus en empresas cubanas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28.
 15. García Rodríguez, M. P. (2019). Análisis de la disponibilidad operacional de los tractores Belarus en empresas cubanas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 1-5.
 16. González Díaz, E. (2016). La gestión de repuestos: factor clave en el mantenimiento de la maquinaria agrícola cubana. *Revista Cubana de Ingeniería*, 21-28.
 17. González-Cueto, O. M.-T.-Á.-P.-D.-S. (2017). Evaluación tecnológica, de explotación y económica del tractor XTZ-150K-09 en labores de preparación de suelo. *Ingeniería Agrícola*, 49-54. Obtenido de <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/513>
 18. Grimaldos Pérez, J. A. (2023). Implementar un Plan de Mantenimiento Preventivo para Maquinaria y Equipos Correspondientes al Sector Agrícola del Taller de la Empresa Palmas Sicarare SAS en Agustín Codazzi, Cesar. Obtenido de https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/bitstream/handle/20.500.14167/5302/Trabajo_grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 19. Jardón-Acosta et al., C. M.-S.-S. (2020). Modelo para la gestión de la confiabilidad operacional de tractores agrícolas. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 3-17.
 20. Leonardo, P. M. (2020). Estado Del Arte De La Inteligencia Artificial Aplicada Al Mantenimiento Basado En Condición. *Scientific Paper*, 18-24.
 21. Macías et al., J. A. (2024). nteligencia Artificial. Obtenido de <https://doi.org/10.61728/AE20240998>
 22. Mares et al., L. G. (2025). Estudio del Impacto de la Inteligencia Artificial en la Agroindustria. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Lucio-Mares/publication/392789309_Estudio_del_Impacto_de_la_Inteligencia_Artifici
 23. Meeker, W. Q. (1998). *Statistical Methods for Reliability Data*. John Wiley & Sons.
 24. Mena Fernández, O. L. (2020). Impacto económico del mantenimiento en la agroindustria azucarera cubana. *Revista Cubana de Ingeniería*, 35-42.
 25. Nie et al., J. W. (2022). Artificial intelligence and digital twins in sustainable agriculture and forestry: A survey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 642–661.
 26. Oliveira, R. C. (2023). Artificial Intelligence in Agriculture: Benefits, Challenges, and Trends. *Applied Sciences*, 74-80.

27. Pérez Consuegra et al., N. L. (2017). Diagnóstico del estado técnico del parque de tractores en empresas agropecuarias cubanas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 63-71.
28. Pérez, C. (1995). Rendimiento probabilístico del pelotón de cosechadoras cañeras KTP-2. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11-12.
29. Ramírez Valle, A. &. (2014). Fiabilidad de los tractores YUM-6M en la prestación de servicios agrícolas. Santa Clara Cuba: Infociencia.
30. Rodríguez Pérez et al., E. B. (2013). Propuesta de sistema de mantenimiento a los vehículos de transporte urbano y agrícola de una base de transporte de carga. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 61-67.
31. Shkiliova, L. C. (2007). Cálculo de los índices de fiabilidad de explotación de la técnica agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 52-55. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/932/93216212.pdf>
32. SIMA. (2010). Mantenimiento preventivo. Obtenido de www.mantenimientoplanificado.com
33. Smith, M. J. (2018). Getting value from artificial intelligence in agriculture. *Animal Production Science*, 46-54. Obtenido de <https://www.publish.csiro.au/an/AN18522>
34. Sood et al., A. S. (2022). Artificial intelligence research in agriculture. A review. *Online Information Review*, 1054– 1075.
35. Suárez Hernández, J. A. (2021). Factores que inciden en la durabilidad de los tractores agrícolas en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 27-35.
36. Wang et al., J. P. (2021). Soil Salinity Mapping Using Machine Learning Algorithms with the Sentinel-2 MSI in Arid Areas, China. *Remote. Sensing*, 305-310.
37. Xajil Cuy, E. (2024). Plan de mantenimiento preventivo para tractores utilizados en producción agrícola, en el ingenio pantaleon. Universidad de San Carlos: Universidad de San Carlos Guatemala.