Convicciones |vol. 13, no. 26, pi-pf 194-203 |Julio-Diciembre 2026 |E-ISSN 2385-7589

Aplicación móvil con arquitectura offline-first para evaluar el bienestar animal en predios bovinos y bufalinos de Cundinamarca

Offline-first mobile application for assessing animal welfare on cattle and buffalo farms in Cundinamarca

1. Andriely Alejandro Casallas Calderón
2. Juan Carlos Velásquez Mosquera
3. Natalia Martínez Rojas

Recibido: 12-02-2026
Aprobado: 16-05-2026

Resumen

Antecedentes: El bienestar animal se ha convertido en un componente central de la producción ganadera sostenible y en Colombia está reglamentado por la Resolución 253 de 2020 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, cuya metodología de evaluación elabora el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Sin embargo, las evaluaciones de campo se realizan actualmente con listas de chequeo en papel, lo que crea ineficiencias operativas, un alto riesgo de error humano y una falta de trazabilidad histórica del predio. **Objetivo:** Desarrollar y validar en campo una versión preliminar de una solución tecnológica, denominada “Bienestar Bovino”, que automatice el registro, el cálculo y la trazabilidad de los indicadores normativos de bienestar animal en predios bovinos y bufalinos. **Métodos:** Se adoptó un enfoque mixto con un ciclo de vida de desarrollo de software iterativo, articulado con un diseño cuasiexperimental. La validación se ejecutó en cuatro predios del trópico alto de Cundinamarca y Bogotá, procesando en campo los 38 indicadores que la metodología del ICA define para sistemas de leche, carne y doble propósito y los 41 previstos para búfalos de trabajo. **Resultados:** Se obtuvo una versión alfa funcional compuesta por una aplicación móvil con arquitectura offline-first y un panel de gestión centralizado. Las cuatro iteraciones arrojaron puntajes de 67, 88, 82 y 91 sobre 100 y permitieron estabilizar el aplicativo: la última visita se completó sin correcciones sobre los algoritmos. **Conclusión:** Una arquitectura offline-first con base de datos embebida resuelve la restricción de conectividad que inviabiliza las herramientas web en el campo colombiano y permite entregar el puntaje normativo al cierre de la visita, sin digitación intermedia.

Palabras clave: aplicación móvil offline-first, bienestar animal, ingeniería de software, producción ganadera sostenible, trazabilidad pecuaria.

Abstract

Background: Animal welfare has become a central component of sustainable livestock production and in Colombia it is regulated by Resolution 253 of 2020 of the Ministry of Agriculture and Rural Development, whose assessment methodology is issued by the Colombian Agricultural Institute (ICA). However, field assessments are currently carried out with paper checklists, which creates operational inefficiencies, a high risk of human error and a lack of traceability at farm level. **Objective:** To develop and field-validate a preliminary version of a technological solution, named “Bienestar Bovino”, that automates the recording, calculation and traceability of regulatory animal welfare indicators on cattle and buffalo farms. **Methods:** A mixed approach was adopted, with an iterative software development life cycle combined with a quasi-experimental design. Validation was carried out on four farms in the high tropics of Cundinamarca and Bogotá, processing in

the field the 38 indicators defined by the ICA methodology for dairy, beef and dual-purpose systems and the 41 indicators for working buffaloes. **Results:** An alpha version was obtained, comprising an offline-first mobile application and a centralised management dashboard. The four iterations yielded scores of 67, 88, 82 and 91 out of 100 and allowed the application to be stabilised: the final visit required no corrections to the algorithms. **Conclusions:** An offline-first architecture with an embedded database resolves the connectivity constraint that makes web tools unworkable in the Colombian countryside and delivers the regulatory score at the end of the visit, with no intermediate data entry.

Keywords: animal welfare, livestock traceability, offline-first mobile application, software engineering, sustainable livestock production.

Programa de Ingeniería de Software. acasallas71@unisalle.edu.co. ORCID: 0009-0004-3332-5749. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.
Programa de Ciencias Agropecuarias. jcvelasquez@unisalle.edu.co. ORCID: 0000-0003-4066-5376. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.
Programa de Ingeniería de Software. namartinez@unisalle.edu.co. ORCID: 0000-0002-5668-6772. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

***Autor de Correspondencia: acasallas71@unisalle.edu.co**

© 2026. Editada por la Fundación de Estudios Superiores Comfanorte.

Introducción

El bienestar animal es una base clave para la producción ganadera sostenible, y en Colombia su reglamentación está contenida en la Resolución 253 de 2020 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), que adoptó el Manual de Condiciones de Bienestar Animal para las especies bovina, bufalina, aves de corral y animales acuáticos. Esa misma resolución encarga al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) la elaboración de la metodología de evaluación, hoy en su versión 3.0 (ICA, 2026), alineada con el Código sanitario para los animales terrestres de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA, 2025) y con el tránsito conceptual de las cinco libertades hacia los cinco dominios y la noción de una vida que vale la pena vivir (Mellor, 2016), y desde noviembre de 2024 el ICA otorga además una certificación voluntaria en bienestar animal a los predios que alcanzan la calificación de bienestar excelente (ICA, 2024).

Sin embargo, la evaluación normativa en campo se basa en listas de verificación físicas, que dan lugar a ineficiencias operacionales, un alto riesgo de error humano durante la entrada de datos y una falta de trazabilidad histórica. La carga de cálculo no es menor: la metodología vigente exige valorar 38 indicadores en sistemas de leche, carne y doble propósito, o 41 en predios con búfalos de trabajo, sobre una muestra de animales que depende del tamaño del hato, y ponderarlos en tres grupos —medidas basadas en el animal (55 %), en los recursos (35 %) y en la gestión (10 %)— para obtener un puntaje sobre 100 que clasifica el predio en cuatro niveles de bienestar (ICA, 2026). Hacer ese cálculo a mano, al final de la jornada y sobre formatos de papel, introduce precisamente los errores que la evaluación pretende detectar. A ello se suma un obstáculo técnico: la ausencia de cobertura celular en potreros y corrales descarta las arquitecturas que dependen de una conexión permanente.

La consecuencia es una brecha de adopción. El ICA reportó 299 predios certificados en bienestar animal entre 2022 y 2026, una cifra reducida frente al universo de predios ganaderos del país, y el primer departamento en obtener la certificación fue Quindío, con nueve predios, en noviembre de 2024. Ante esta situación, es necesario avanzar en la digitalización de la evaluación del bienestar animal, sustentada por experiencias internacionales como los aplicativos móviles basados en los protocolos AWIN (Battini et al., 2017), los cuales operan fuera de línea en granja y optimizan la recolección de datos al reducir el tiempo requerido y eliminar los errores de transcripción, así como por la evidencia colombiana de aceptación tecnológica en hatos lecheros que vincula estas herramientas con una observación más ágil de la salud y el bienestar animal (Usuga-Escobar et al., 2022). Esta transición exige considerar el diagnóstico oficial del DANE (2023), según el cual el 79,8 % de las Unidades de Producción Agropecuaria (UPA) de Colombia carece de conexión y acceso a internet (pues solo el 20,2 % cuenta con este servicio), mientras que en las zonas rurales dispersas el 45,3 % califica la calidad del servicio como mala (DANE, 2024), lo que inviabiliza cualquier arquitectura dependiente de la nube en tiempo real. La viabilidad técnica de emplear bases de datos embebidas y autónomas como SQLite (Quisaguano et al., 2022) para gestionar registros productivos y sanitarios de ganado bovino sin conexión en campo, con sincronización bidireccional posterior y superando los errores del registro manual en papel, ha sido demostrada por Coloma-Garófalo y Agualongo-Caiza (2023). Además, si bien existen programas nacionales como la herramienta web “Más Bienestar” de Agrosavia (2021), estos presentan importantes inconvenientes operativos debido a su rigurosa dependencia de la conectividad permanente a Internet y a su enfoque exclusivo y limitado a los sistemas de lechería especializada del trópico alto.

La literatura internacional respalda el camino de las aplicaciones móviles para la evaluación del bienestar. El proyecto Animal Welfare Indicators desarrolló aplicaciones que operan sin conexión y permiten recoger

indicadores basados en el animal con protocolos estandarizados, como i-WatchTurkey para pavos (Estevez et al., 2014), y documentó tanto sus oportunidades como sus límites (Canali et al., 2016). Esa experiencia, sin embargo, no cubre las especies bovina y bufalina en el marco normativo colombiano. En cuanto a la especificidad etológica, los trabajos sobre búfalo de agua muestran que sus necesidades de comportamiento y los indicadores que las capturan difieren de los del bovino (Napolitano et al., 2013; Winckler et al., 2010), e incluso la aplicación directa de protocolos bovinos exige verificar la prevalencia y la fiabilidad de cada medida en búfalos (De Rosa et al., 2015). Esto justifica que el aplicativo parametrice algoritmos diferenciados por especie en lugar de reutilizar una sola lista de chequeo.

Tabla 1. Antecedentes más cercanos y lo que dejan sin resolver

Antecedente	Qué resuelve	Qué deja sin resolver
Agrosavia (2021), "Más Bienestar"	Evalúa y sugiere planes de acción para el bienestar bovino	Herramienta web; se limita a lechería especializada del trópico alto
Estevez et al. (2014); Canali et al. (2016)	Aplicaciones móviles de evaluación que operan sin conexión	Otras especies; no responden a la normativa colombiana
Napolitano et al. (2013); Winckler et al. (2010)	Fundamentan la especificidad etológica del búfalo	No proponen una herramienta informática
ICA (2026), metodología versión 3.0	Define indicadores, ponderación, muestra y niveles de bienestar	Documento normativo; se aplica en papel

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es crear una versión funcional preliminar de una solución tecnológica integral llamada "Bienestar Bovino", que utiliza una aplicación móvil con arquitectura offline-first para automatizar procesos de evaluación y trazabilidad para predios bovinos y bufalinos en el trópico alto. La pregunta que orientó el trabajo fue cómo optimizar la recolección, el cálculo y la trazabilidad de los indicadores normativos de bienestar animal mediante una herramienta adaptada a entornos de baja conectividad. De ella se derivaron cuatro objetivos específicos: implementar la captura y el registro digital de las listas de chequeo; diseñar un módulo de cálculo y validación automatizada de puntajes conforme a los criterios del ICA; construir una arquitectura de almacenamiento local con sincronización diferida; y desarrollar un panel de gestión centralizado para la consolidación y visualización de los indicadores.

La importancia de este estudio proviene de su capacidad para hacer más accesible la tecnología en la agricultura, dando a los pequeños y medianos productores del trópico alto acceso a herramientas de precisión que anteriormente sólo estaban disponibles para las grandes operaciones agroindustriales. Resolver este problema es esencial para avanzar en la certificación oficial del ICA, que ayuda a los productores a reducir sus costos operativos, aumentar su competitividad en los mercados internacionales y mejorar la seguridad alimentaria. A nivel académico e institucional, el proyecto se basa en un modelo de investigación interdisciplinar en la Universidad de La Salle que combina ingeniería de software y ciencias agropecuarias, y se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 3, 9, 10 y 12.

Este artículo pretende presentar el diseño, desarrollo y validación de campo de la aplicación móvil preliminar "Bienestar Bovino" y su panel de gestión centralizada. El alcance del estudio se limita a procesar 38 indicadores para sistemas de leche, carne y doble propósito, y 41 indicadores para búfalos de trabajo, aplicados geográficamente a pequeños (hasta 50 animales) y medianos (51 a 500 animales) productores en el trópico alto del departamento de Cundinamarca. Quedan fuera del alcance la matrícula de otros módulos de gestión pecuaria, la integración con sistemas institucionales y el despliegue comercial a escala nacional.

Metodología

El diseño de este estudio fue concebido como una investigación aplicada y de tipo tecnológica, por lo cual se decidió implementar un enfoque metodológico de carácter mixto (cualitativo y cuantitativo) para conseguir un estudio integral del fenómeno (Hernández-Sampieri et al., 2014). En relación con el abordaje procedimental, el diseño metodológico se planeó a partir de un ciclo de vida de desarrollo de software (SDLC) de tipo iterativo y ágil (Sommerville, 2011); este se integró secuencialmente a un diseño cuasi experimental para la estabilización y validación de la herramienta.

La población y unidad de análisis para el proyecto estuvo representada por los predios ganaderos a cargo de pequeños (hasta 50 animales) o medianos (entre 51 y 500 animales) productores en el trópico alto del departamento de Cundinamarca, con sistemas ganaderos de lechería, carne o doble propósito. Se tomaron cuatro escenarios productivos particulares como fuentes de información primaria para la etapa experimental del proyecto, empleando la observación in situ en campo como la técnica principal de recolección de información, con la versión preliminar de la aplicación móvil (“Bienestar Bovino”) como instrumento estructurado para tal fin. Los predios se ubican en Sopó y Cogua (Cundinamarca) y en la localidad de Usme (Bogotá); sus nombres se mantienen en reserva por acuerdo con los productores participantes.

El instrumento se construyó sobre la metodología vigente del ICA. La Figura 1 presenta la arquitectura de la solución y la Figura 2, la estructura del cálculo normativo que el aplicativo implementa: la ponderación de los tres grupos de medidas, el puntaje resultante sobre 100 y los cuatro niveles de bienestar en que se clasifica el predio. El tamaño de la muestra de animales no lo fija el evaluador: la propia metodología lo determina a partir del número de animales del predio, y la aplicación lo calcula antes de iniciar la inspección.

En cuanto al procedimiento de análisis de datos, se estudiaron desde el enfoque cuantitativo métricas de rendimiento computacional, tales como reducción de fallos (bugs) por iteración, resiliencia de la persistencia local (offline-first) o exactitud algorítmica respecto a la metodología de evaluación del ICA; y desde la perspectiva cualitativa, se abordó la usabilidad de las interfaces (UI/UX) mediante la experiencia directa de los operarios en el medio rural (Nielsen, 1994). El diseño interno del aplicativo siguió los patrones de arquitectura de aplicaciones empresariales de Fowler (2002) y la separación del dominio propuesta por Evans (2003), de modo que las reglas normativas quedaran concentradas en una sola capa y pudieran actualizarse cuando el ICA publique una nueva versión de la metodología.

Por otra parte, mientras que el núcleo de este proyecto implica el desarrollo de software aplicado, se demandó una fase metodológica de revisión sistemática previa para la cimentación de la propuesta, con un fin de construcción del estado del arte. Así, este mapeo documental sobre la evolución tecnológica para la evaluación del bienestar animal se acotó por inclusión de criterios que privilegiaron estudios empíricos centrados en ganadería tropical, arquitecturas de software offline y especificidad etológica. El resultado de ese mapeo es la comparación de la Tabla 1, que condujo a descartar las arquitecturas web dependientes de internet y a adoptar el paradigma offline-first con bases de datos embebidas.

Resultados y discusión

El resultado principal y tangible de esta investigación es la entrega de una versión preliminar funcional (alfa) del aplicativo móvil denominado “Bienestar Bovino”, acompañada de un panel centralizado de gestión en línea. Esta solución tecnológica estandariza y automatiza la captura de los 38 indicadores paramétricos establecidos para sistemas de leche, carne y doble propósito, así como los 41 indicadores requeridos para predios que operan con búfalos de trabajo, conforme a los lineamientos de la Resolución 253 de 2020 y la versión 3.0 de la metodología del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Arquitectura de la solución. La Figura 1 muestra cómo se distribuyen las responsabilidades entre el predio y el servidor. En el predio, la aplicación captura los indicadores y la evidencia fotográfica, calcula el puntaje ponderado y lo persiste de inmediato en una base de datos embebida, de modo que la evaluación se completa íntegramente sin red. La sincronización con el panel de gestión es diferida y ocurre cuando el dispositivo recupera cobertura. En el servidor, el panel consolida las evaluaciones, permite el seguimiento histórico por predio y genera los reportes que sirven de soporte documental ante una visita del ICA.

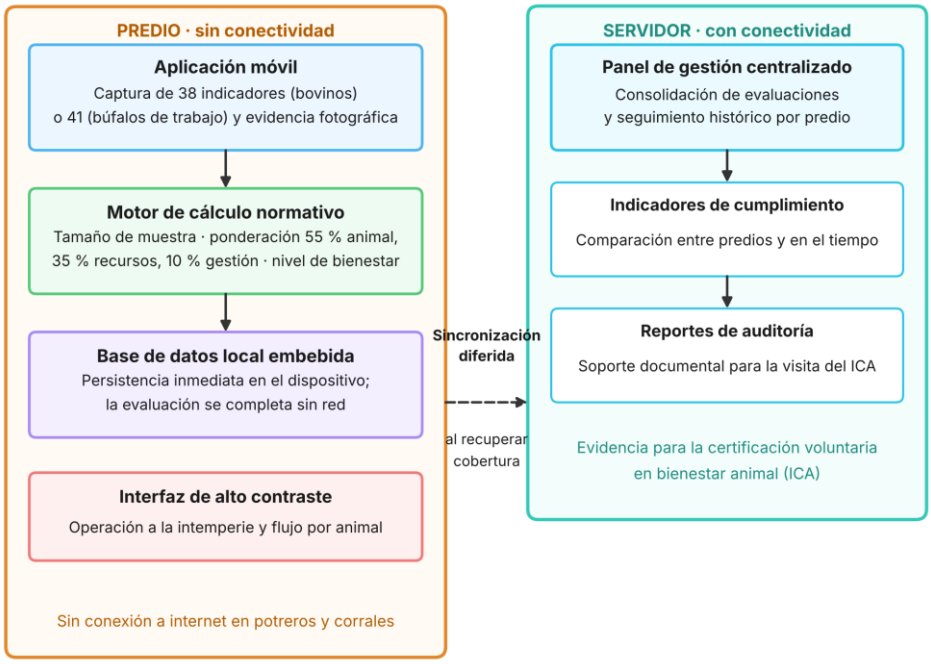


Figura 1. Arquitectura offline-first de la solución “Bienestar Bovino”

Validación en campo. Durante el proceso de validación del software, se llevaron a cabo visitas de campo iterativas en cuatro predios ganaderos del departamento de Cundinamarca y Bogotá. En estas visitas se ejecutaron las pruebas reales de bienestar animal manteniendo la reserva sobre los nombres de los predios participantes, lo que permitió registrar el comportamiento del sistema bajo condiciones operativas reales, evaluar la resiliencia de la persistencia de datos offline-first y aplicar correcciones ágiles de errores (bugs) hasta lograr la estabilización funcional del aplicativo. La Tabla 2 sintetiza las cuatro iteraciones.

Tabla 2. Iteraciones de validación en campo y puntaje de bienestar obtenido por cada predio

Iteración	Ubicación	Puntaje obtenido	Foco del trabajo de software
1	Sopó (Cundinamarca)	67 / 100	Evaluación inicial; identificación de los primeros fallos y correcciones de funcionamiento
2	Usme (Bogotá)	88 / 100	Ajustes de usabilidad y mejora del rendimiento de la base de datos local
3	Cogua (Cundinamarca)	82 / 100	Operación fluida; no se requirieron correcciones en los algoritmos
4	Sopó (Cundinamarca)	91 / 100	Evaluación de cierre; se validó la estabilización del aplicativo para uso en campo

Conviene separar dos lecturas de la Tabla 2. El puntaje pertenece al predio evaluado y no mide la calidad del software: la secuencia 67, 88, 82 y 91 refleja condiciones de bienestar distintas en cada finca, no una mejora progresiva de la herramienta. Lo que sí describe el desempeño del aplicativo es la columna de la derecha,

donde la necesidad de corregir código desaparece a partir de la tercera visita. Esa es la evidencia de estabilización que el estudio reporta. Conviene señalar también que tres de los cuatro predios se clasificaron en nivel alto y uno en nivel medio, y que ninguno alcanzó el umbral de bienestar excelente exigido para la certificación voluntaria, lo que ilustra la utilidad de disponer del diagnóstico al cierre de la visita.

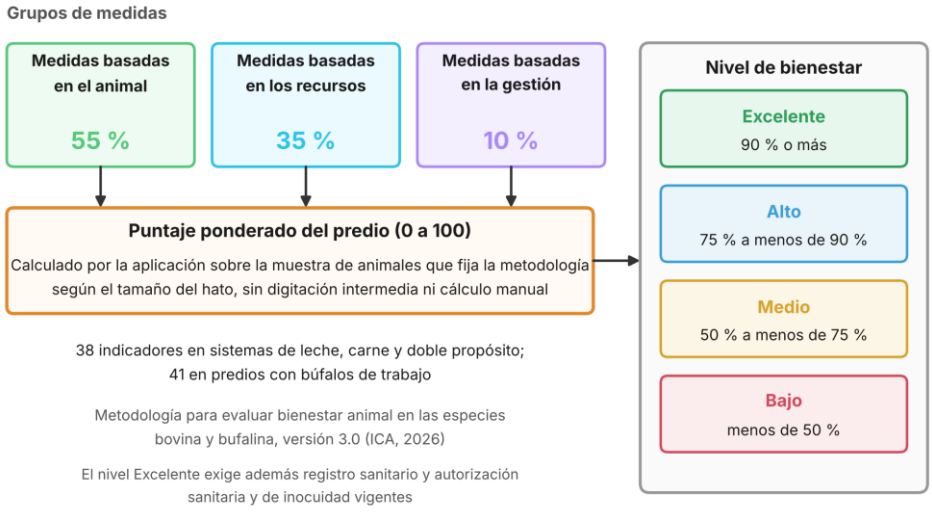


Figura 2. Estructura del cálculo normativo implementada en el aplicativo

Desde la perspectiva de la Ingeniería de Software, los resultados demuestran la viabilidad técnica y la eficacia de implementar arquitecturas offline-first apoyadas en bases de datos locales embebidas. Este diseño resuelve las limitaciones de conectividad e infraestructura de telecomunicaciones presentes en las zonas rurales del trópico colombiano. Desde la práctica zootécnica, la automatización de las auditorías suprime el cálculo manual del puntaje ponderado y la doble digitación de datos, y deja disponible una trazabilidad histórica del hato. El estudio no midió, sin embargo, el tiempo que la herramienta ahorra frente al formato en papel; esa comparación queda planteada como trabajo pendiente y, hasta realizarla, la reducción de tiempos debe tratarse como un beneficio esperado y no demostrado.

Frente a los antecedentes, el aporte del trabajo se delimita así. Respecto de “Más Bienestar” (Agrosavia, 2021), la diferencia no está en la evaluación del bienestar, que esa herramienta ya resuelve con solvencia para lechería especializada, sino en dos extensiones: la operación sin conectividad y la cobertura de los sistemas de carne, doble propósito y búfalos de trabajo. Respecto de las aplicaciones del proyecto Animal Welfare Indicators (Estevez et al., 2014; Canali et al., 2016), que también operan sin conexión, la contribución es la parametrización del aplicativo sobre un marco normativo nacional concreto, con su ponderación y sus niveles de clasificación. Y respecto de la literatura sobre búfalo (Napolitano et al., 2013; De Rosa et al., 2015), el sistema traslada la exigencia de especificidad etológica a una decisión de diseño verificable: dos conjuntos de indicadores separados y dos evaluaciones independientes cuando el predio maneja ambas especies.

En el plano social y económico, el aplicativo promueve la inclusión digital y la democratización tecnológica al dotar a pequeños y medianos productores de herramientas de precisión antes reservadas para grandes operaciones agroindustriales. Facilitar el cumplimiento de la normatividad del ICA puede impulsar la obtención voluntaria de la certificación oficial, incrementando la competitividad de los productores en los mercados nacionales e internacionales, optimizando costos operativos y mejorando la inocuidad alimentaria.

Finalmente, el proyecto se alinea de manera integral con la agenda global de sostenibilidad. Contribuye al ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) mediante la innovación tecnológica y al ODS 10 (Reducción de las Desigualdades) al acercar herramientas de precisión a productores que no acceden a ellas. Desde el punto de vista ambiental y el enfoque de "Una sola salud" (One Health), la reducción del estrés crónico en bovinos y bufalinos se asocia a una mejor eficiencia metabólica, lo que puede disminuir el desperdicio de recursos naturales como agua y forraje por unidad producida (ODS 12), efecto que este estudio no cuantificó. Adicionalmente, la digitalización de las auditorías consolida una política de cero papeles, eliminando el impacto ambiental derivado del uso masivo de formularios físicos. El ODS 3 (Salud y Bienestar) se vincula al proyecto por la vía de la inocuidad de los alimentos de origen animal.

Limitaciones. El alcance se restringe a una versión alfa y a cuatro predios de una sola región, lo que impide generalizar el comportamiento del sistema a otros contextos agroecológicos. No se aplicó un instrumento estandarizado de usabilidad ni se evaluó el producto frente a un modelo de calidad de software, de modo que la valoración de la interfaz descansa en la observación directa de los operarios. Tampoco se contrastaron los puntajes calculados por la aplicación con los que obtendría un evaluador del ICA sobre los mismos datos, prueba que resulta indispensable antes de proponer la herramienta como soporte de un trámite de certificación.

Conclusión

El desarrollo del presente proyecto permitió dar cumplimiento al objetivo general y a los objetivos específicos planteados, mediante el diseño, desarrollo y validación en campo de una versión preliminar funcional (alfa) del aplicativo móvil "Bienestar Bovino" y su panel de gestión centralizado. La herramienta logró sistematizar exitosamente la captura y el cálculo automatizado de los 38 indicadores paramétricos para sistemas de leche, carne y doble propósito, así como los 41 indicadores para predios con búfalos de trabajo, ajustándose a los lineamientos técnicos de la Resolución 253 de 2020 y la versión 3.0 de la metodología de evaluación del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Como principal aporte, la investigación demuestra la viabilidad de las arquitecturas offline-first para entornos rurales desconectados, a la vez que proporciona a los productores una herramienta estandarizada que elimina el cálculo manual del puntaje y entrega el diagnóstico al cierre de la visita. Como limitaciones, el alcance actual se restringe a una versión preliminar de software (alfa) y las pruebas de campo iterativas se limitaron a cuatro predios ganaderos localizados en Cundinamarca y Bogotá, por lo que su validación a gran escala en otras regiones del país requerirá fases adicionales de despliegue.

Finalmente, como recomendaciones para futuras investigaciones, se sugiere ampliar el despliegue piloto a nivel nacional para evaluar el comportamiento del sistema ante una mayor diversidad de contextos agroecológicos. Antes de ese despliegue conviene cerrar tres brechas: contrastar los puntajes del aplicativo con los de un evaluador del ICA sobre los mismos datos, medir el tiempo de evaluación frente al formato en papel y aplicar un instrumento estandarizado de usabilidad, como la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS, por sus siglas en inglés, System Usability Scale) de Brooke (1996), junto con una valoración del producto frente al modelo de calidad de la norma ISO/IEC 25010 (ISO e IEC, 2023). Asimismo, se propone aprovechar las bases de datos estructuradas generadas por el aplicativo para desarrollar modelos de analítica predictiva y aprendizaje automático (Machine Learning) orientados a la gestión de la salud y productividad del hato, así como integrar la arquitectura con soluciones de Internet de las Cosas (IoT).

Referencias

Battini, M., Dalla Costa, E., Dai, F., Minero, M., Barbieri, S., Canali, E., Mattiello, S., Ferrante, V., Estevez, I., Marchewka, J., Ruiz, R., Beltrán de Heredia, I., Dwyer, C., Stilwell, G., & Zanella, A. J. (2017). Aplicaciones móviles basadas en los protocolos AWIN para evaluar el bienestar animal en la granja. Boletín de la OIE, (2017-1), 14–19. https://www.woah.org/app/uploads/2021/03/bull-2017-1-esp.pdf

Brooke, J. (1996). SUS: A "quick and dirty" usability scale. En P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland (Eds.), Usability evaluation in industry (pp. 189–194). Taylor & Francis.

Canali, E., Minero, M., Mattiello, S., Barbieri, S., Ferrante, V., Estevez, I., Dwyer, C., Stilwell, G., Dalla Costa, E., Battini, M., Dai, F., & Zanella, A. (2016). Animal welfare assessment through smartphone applications: challenges and opportunities [Ponencia]. 4th OIE Global Conference on Animal Welfare, Guadalajara, México. https://www.researchgate.net/publication/312596727_Animal_welfare_assessment_through_smartphone_applications_challenges_and_opportunities

Coloma-Garófalo, J. A., & Agualongo-Caiza, J. M. (2023). Innovación móvil para el seguimiento eficiente del ganado bovino en Hacienda San Gabriel. Polo del Conocimiento, 8(5), 1029–1043. https://doi.org/10.23857/pc.v8i5

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Agrosavia]. (2021). Software "MÁS BIENESTAR": Aplicativo para evaluar y mejorar el bienestar bovino en los sistemas de lechería especializada del trópico alto. Agrosavia. https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/l%C3%ADnea-pecuaria/ganader%C3%ADa-y-especies-menores/sistemas-de-informaci%C3%B3n/495-software-m%C3%A1s-bienestar-satd

De Rosa, G., Grasso, F., Pacelli, C., Napolitano, F., & Winckler, C. (2009). The welfare of dairy buffalo. Italian Journal of Animal Science, 8(1s), 103–116. https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.103

De Rosa, G., Grasso, F., Winckler, C., Bilancione, A., Pacelli, C., Masucci, F., & Napolitano, F. (2015). Application of the Welfare Quality protocol to dairy buffalo farms: Prevalence and reliability of selected measures. Journal of Dairy Science, 98(10), 6886–6896. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9350

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2023). Boletín técnico: Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2023. https://www.dane.gov.co/files/operaciones/ENA/bol-ENA-Definitivo-2023.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2024). Boletín técnico: Encuesta de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Hogares – 2024 (ENTIC Hogares). https://www.dane.gov.co/files/operaciones/ENTIC/bol-ENTICHogares-2024.pdf

Estevez, I., Marchewka, J., Negrão Watanabe, T. T., Ruiz, R., Carrascal, A., & Ferrante, V. (2014). i-WatchTurkey: A smartphone application for on-farm turkeys health and welfare [Ponencia].

Evans, E. (2003). Domain-driven design: Tackling complexity in the heart of software. Addison-Wesley Professional.

Fowler, M. (2002). Patterns of enterprise application architecture. Addison-Wesley Professional.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2024). Resolución 16409 de 2024: Por la cual se establecen los requisitos para la certificación en Bienestar Animal en la producción primaria pecuaria y se dictan disposiciones relacionadas con las actividades de Inspección, Vigilancia y Control en Bienestar

Animal. https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2024/2024r00016409

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2026). Metodología para evaluar bienestar animal en las especies bovina y bufalina (Versión 3.0). https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/inocuidad-en-las-cadenas-agroalimentarias/documentos/2025/meba-bovinos-y-bufalos-ver-3.aspx

International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2023). ISO/IEC 25010:2023 Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Product quality model. ISO.

Mellor, D. J. (2016). Updating animal welfare thinking: Moving beyond the "Five Freedoms" towards "A Life Worth Living". Animals, 6(3), 21. https://doi.org/10.3390/ani6030021

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Resolución 253 de 2020: Por la cual se adopta el Manual de Condiciones de Bienestar Animal propias de cada una de las especies de producción del sector agropecuario: bovina, bufalina, aves de corral y animales acuáticos. Diario Oficial 51.482. https://compilacionmsf.ica.gov.co:4443/compilacion/docs/resolucion_minagricultura_0253_2020.htm

Napolitano, F., Pacelli, C., Grasso, F., Braghieri, A., & De Rosa, G. (2013). The behaviour and welfare of buffaloes (Bubalus bubalis) in modern dairy enterprises. Animal, 7(10), 1704–1713. https://doi.org/10.1017/S1751731113001109

Nielsen, J. (1994). Usability engineering. Morgan Kaufmann.

Organización Mundial de Sanidad Animal [OMSA]. (2025). Código sanitario para los animales terrestres (Sección 7: Bienestar Animal). https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/

Quisaguano, L. R., Camalle, T. G., & Toca, J. W. (2022). Análisis comparativo de entornos de desarrollo móvil. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6(4), 4478–4498. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2950

Sommerville, I. (2011). Ingeniería de software (9.ª ed.). Pearson Educación.

Usuga-Escobar, J. F., Palacio-Baena, L. G., & Barrios, D. (2022). Aceptación tecnológica de una aplicación móvil para la gestión de negocios lecheros. Revista CEA, 8(17), 1–23. https://doi.org/10.22430/24223182.2007