

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño e implementación de una aplicación móvil para la
recolección de datos en campos de acción agrícola**

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por Diego Alexander Hernández Silvestre para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencia de la Computación y Tecnologías de la Información

Guatemala,

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño e implementación de una aplicación móvil para la
recolección de datos en campos de acción agrícola**

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por Diego Alexander Hernández Silvestre para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencia de la Computación y Tecnologías de la Información

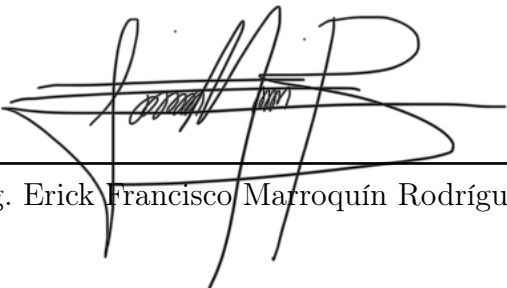
Guatemala,

2025

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Erick Francisco Marroquín Rodríguez

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Erick Francisco Marroquín Rodríguez

(f) 
Ing. Marlon Osiris Fuentes Lopez

Fecha de aprobación: Guatemala, 22 de noviembre 2025.

Agradezco al ingenio Santa Ana por facilitar la validación de la aplicación, a los usuarios que participaron en las pruebas *eye-tracking* y de campo, y al cuerpo docente de la Facultad de Ingeniería por su guía durante el proceso. Extiendo también mi reconocimiento a mis compañeros de grupo, cuya colaboración fue clave para la integración técnica y conceptual del sistema completo. Este trabajo refleja la aplicación de conocimientos técnicos y de diseño adquiridos a lo largo de la carrera, materializados en una solución tecnológica con impacto real en el sector agrícola.

Prefacio	III
Lista de figuras	VIII
Lista de cuadros	IX
Lista de abreviaturas y siglas	X
Resumen	XI
Abstract	XII
1 Introducción	1
2 Antecedentes	3
3 Justificación	5
4 Objetivos	7
4.1 Objetivo general	7
4.2 Objetivos específicos	7
5 Alcance	8
6 Marco teórico	10
6.1 Conceptos generales	10
6.2 Estructura y principios de diseño	15
6.3 Tecnologías y herramientas utilizadas	18
6.4 Arquitectura de componentes con <i>atomic design</i>	20
6.5 Estilización en React Native: <i>styled components</i> y Nativewind	20
6.6 Integración y manejo de datos	21
7 Metodología	23
7.1 Fase I: empatía y diagnóstico inicial	23

7.2	Fase II: definición de perfiles y diseño conceptual	27
7.3	Fase III: arquitectura del <i>frontend</i>	31
7.4	Fase IV: validación con usuarios finales	34
7.5	Fase V: documentación, análisis y mejora continua	35
8	Resultados	36
8.1	Encuesta diagnóstica	36
8.2	Evolución del diseño de interfaz	40
8.3	Validación de accesibilidad y contraste	51
8.4	Validación con usuarios finales	52
8.5	Comparativo antes/después: optimización del proceso	59
9	Conclusiones	62
10	Recomendaciones	63
11	Referencias	64
12	Anexos	68
12.1	Instrumentos de recolección	68
12.2	Resultados de encuestas y observaciones	71
12.3	Evidencia visual	72
12.4	Código o estructura técnica	82
12.5	Documento de soporte	85
13	Glosario	88

Lista de figuras

Figura 1	Indicadores globales de adopción y uso de internet a enero de 2024.	10
Figura 2	Ejemplo de <i>user persona</i> basada en patrones observados durante las pruebas de campo.	12
Figura 3	Ejemplo comparativo de <i>wireframes</i> de baja y alta fidelidad.	13
Figura 4	Jerarquía de componentes en <i>atomic design</i> : átomos, moléculas, organismos, plantillas y páginas.	14
Figura 5	Matriz de cumplimiento de contraste según normas WCAG 2.1.	18
Figura 6	Primera iteración de <i>wireframes</i> : definición inicial de estructura y flujo general de pantallas.	28
Figura 7	Segunda y última iteración de <i>wireframes</i> : versión final consolidada tras la validación interna.	29
Figura 8	Paleta cromática empleada en la interfaz del módulo móvil.	30
Figura 9	Prototipo de alta fidelidad desarrollado en Figma: flujo desde inicio de sesión hasta el llenado de formularios.	31
Figura 10	Arquitectura general del <i>frontend</i> desarrollado en React Native.	32
Figura 11	Ejemplo de análisis de atención visual mediante <i>eye-tracking</i> (Tobii) durante la interacción con la aplicación móvil.	33
Figura 12	Validación de la aplicación móvil en campo con colaboradores del ingenio Santa Ana. Se evaluaron condiciones reales de uso, iluminación y conectividad.	34
Figura 13	Distribución de edades de los participantes de la encuesta.	36
Figura 14	Nivel de escolaridad alcanzado por los participantes de la encuesta.	37
Figura 15	Condiciones ambientales y operativas durante el uso de dispositivos móviles en campo.	37
Figura 16	Preferencias y modos de manipulación del dispositivo móvil durante la jornada laboral.	38
Figura 17	Principales dificultades identificadas en el uso de aplicaciones móviles durante la jornada laboral.	38
Figura 18	Características y funcionalidades prioritarias identificadas para la optimización de la experiencia de usuario.	39

Figura 19	Preferencias sobre la modalidad de capacitación para el uso del nuevo módulo móvil.	39
Figura 20	Nivel de comodidad percibido por los usuarios durante el uso de aplicaciones móviles en la jornada laboral.	40
Figura 21	Primera iteración del diseño de interfaz: estructura base del flujo principal.	41
Figura 22	Segunda iteración del diseño de interfaz: prototipo de alta fidelidad con ajustes visuales y estructurales.	42
Figura 23	Pantalla de inicio de sesión con opciones de acceso mediante código QR o credenciales.	43
Figura 24	Interfaz de escaneo de código QR mediante cámara integrada, con soporte de linterna y cierre rápido.	44
Figura 25	Pantalla principal de formularios disponibles, organizada por categorías de tareas y estados de conexión.	45
Figura 26	Vista detallada de formularios dentro de una categoría, con indicadores de progreso y sincronización.	46
Figura 27	Gestión de registros dentro de una sesión de formulario, se muestran los elementos enviados y pendientes.	47
Figura 28	Campo de firma digital implementado para la validación presencial de datos en campo.	48
Figura 29	Ejemplo de formulario con grupos de datos repetibles, que permite añadir y eliminar registros de forma dinámica.	49
Figura 30	Selección de valores a partir de listas dinámicas, con soporte para opciones múltiples y búsqueda rápida.	50
Figura 31	Validación de contraste entre colores de texto y fondo según WCAG 2.1.	51
Figura 32	Pruebas de seguimiento ocular con cinco voluntarios en el laboratorio de la UVG.	52
Figura 33	Mapa de calor del inicio de sesión por QR. Se observa foco inmediato en el ícono central y el botón de escaneo, lo que valida la claridad del punto de entrada.	53
Figura 34	Mapa de calor de la pantalla principal. Los usuarios dirigieron la atención hacia los primeros bloques de formularios y el botón de sincronización.	54
Figura 35	Mapa de calor de la vista de categorías de formularios. Se aprecia atención prioritaria en los encabezados y los botones de estado (“Borrador”, “Listo” y “Enviado”).	55
Figura 36	Mapa de calor de la pantalla de registros. Los usuarios concentraron la vista en los botones de acción, lo que confirma la comprensión de la jerarquía de opciones.	56
Figura 37	Mapa de calor del formulario de ingreso de datos. Se observa atención lineal descendente, lo que refuerza el orden natural de lectura y valida el diseño vertical.	57
Figura 38	Consentimiento informado para los participantes.	68
Figura 39	Panel general de resultados de la encuesta diagnóstica en Google Forms.	72
Figura 40	Interfaz principal de la aplicación Digiforms.	73

Figura 41	Vista de formulario en Digiforms.	74
Figura 42	Vista de gestión de Digiforms.	75
Figura 43	Pantallas del prototipo de alta fidelidad en Figma.	76
Figura 44	Participante 1 durante la prueba de seguimiento ocular.	76
Figura 45	Participante 2 durante la prueba de seguimiento ocular.	77
Figura 46	Participante 3 durante la prueba de seguimiento ocular.	77
Figura 47	Participante 4 durante la prueba de seguimiento ocular.	77
Figura 48	Prueba de usabilidad en campo – Usuario 1.	78
Figura 49	Prueba de usabilidad en campo – Usuario 2.	79
Figura 50	Prueba de usabilidad en campo – Usuario 3.	80
Figura 51	Reunión de validación con personal del ingenio Santa Ana.	81
Figura 52	Evidencia fotográfica del ingenio Santa Ana durante la visita técnica.	82
Figura 53	Estructura de carpetas del <i>frontend</i>	83
Figura 54	Ejemplo de componentes clave implementados en React Native.	84
Figura 55	Código QR para descarga directa del archivo APK.	85
Figura 56	Portada del manual de usuario desarrollado en Canva.	86
Figura 57	Ejemplo de sección del manual: vista de la interfaz principal.	87

Lista de cuadros

Cuadro 1	Matriz de decisión tecnológica para el desarrollo del módulo móvil.	19
Cuadro 2	Características funcionales de la herramienta actual.	24
Cuadro 3	Limitaciones técnicas y operativas de la herramienta actual.	24
Cuadro 4	Rediseño y requerimientos clave del nuevo sistema.	26
Cuadro 5	Comparativo cualitativo del proceso de captura: herramienta vigente vs. aplicación propuesta.	59

Lista de abreviaturas y siglas

API. Application programming interface.

CSV. Comma-separated values.

DCU. Diseño centrado en el usuario.

FAO. Food and Agriculture Organization.

ISO 9241-210:2019. Diseño centrado en el usuario para sistemas interactivos.

ISO/IEC 25010:2011. Modelo de calidad del *software*.

ISO/IEC 27001. Gestión de la seguridad de la información.

JSON. JavaScript Object Notation.

MVC. Model – View – Controller.

MVP. Model – View – Presenter.

MVVM. Model – View – ViewModel.

OWASP Mobile. OWASP Mobile Security Project.

OWASP. Open Web Application Security Project.

UI. User interface.

UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UX. User experience.

W3C. World Wide Web Consortium.

WCAG. Web content accessibility guidelines.

Este trabajo aborda el diseño y la implementación de un sistema móvil para la recolección de datos en la Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S. A., con el objetivo de optimizar la eficiencia y la precisión de la captura de información en campo. La solución fue desarrollada utilizando React Native y Expo, integrando una arquitectura modular con almacenamiento local en SQLite y sincronización diferida, lo que aseguró la operatividad en entornos con conectividad limitada.

La metodología incluyó análisis de necesidades, diseño de interfaz basado en *atomic design* y cumplimiento de las pautas de accesibilidad WCAG 2.1. Se realizaron validaciones mediante seguimiento ocular (*eye-tracking*) en la Universidad del Valle de Guatemala y pruebas de campo en las instalaciones del ingenio, lo que permitió optimizar la jerarquía visual y confirmar la estabilidad funcional.

Los resultados evidencian que el uso de tecnologías híbridas y un diseño centrado en el usuario constituyen una estrategia efectiva para el contexto agrícola. La herramienta final mejoró la legibilidad, la usabilidad y la eficiencia en la toma de datos, modernizando los procesos de registro del ingenio.

Palabras clave: React Native, aplicaciones móviles, usabilidad, accesibilidad, agricultura digital, recolección de datos, *eye-tracking*, WCAG 2.1.

This work presents the design and implementation of a mobile system for data collection at Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S. A., aimed at optimizing the efficiency and accuracy of field information capture. The solution was developed using React Native and Expo, integrating a modular architecture with local storage in SQLite and delayed synchronization, ensuring operability in environments with limited connectivity.

The methodology included needs analysis, interface design based on atomic design, and compliance with WCAG 2.1 accessibility guidelines. Validations were conducted using eye-tracking at Universidad del Valle de Guatemala and field tests, which allowed for optimizing the visual hierarchy and confirming functional stability.

The results show that the use of hybrid technologies and a user-centered design constitute an effective strategy for the agricultural context. The final tool improved legibility, usability, and efficiency in data collection, modernizing the registration processes of the mill.

Keywords: React Native, mobile applications, usability, accessibility, digital agriculture, data collection, eye-tracking, WCAG 2.1.

La digitalización de procesos en el sector agrícola ha adquirido un papel fundamental en la optimización de la gestión operativa y la toma de decisiones basadas en datos. En los últimos años, las aplicaciones móviles y los sistemas de formularios digitales han permitido reducir errores manuales, eliminar el uso de papel y mejorar la eficiencia en la recopilación de información. Sin embargo, las soluciones comerciales disponibles presentan limitaciones en términos de adaptabilidad, control de la información y accesibilidad, lo que restringe su aplicación en contextos rurales y en condiciones de conectividad limitada.

En el caso del Ingenio Santa Ana, la herramienta actualmente utilizada, Digiforms, ha mostrado deficiencias en aspectos críticos como la personalización de formularios, la persistencia de datos históricos y la facilidad de uso en campo. Además, su modelo de licenciamiento implica un costo por usuario activo, lo que genera una dependencia económica constante de un servicio externo. Estas condiciones impactan tanto la sostenibilidad financiera como la autonomía tecnológica de la organización, lo que refuerza la necesidad de contar con una solución propia y escalable que se adapte al entorno operativo y las capacidades internas del ingenio.

Este trabajo de graduación, se enfoca en el diseño y la implementación de una aplicación móvil que permita la captura eficiente, la validación y el almacenamiento local de información, considerando los desafíos del trabajo en campo. En particular, este módulo aborda el desarrollo del *frontend* móvil y la experiencia de usuario (UX), orientados a optimizar la recolección de datos en el entorno operativo del ingenio.

La aplicación se construye bajo los principios del diseño centrado en el usuario (DCU) y metodologías ágiles, integrando prácticas de investigación con usuarios, prototipado iterativo y validación en laboratorio y en campo. Este enfoque garantiza que el diseño de la interfaz, los flujos de navegación y las funcionalidades de captura respondan a las necesidades reales de los operarios y supervisores agrícolas, lo que mantiene un equilibrio entre simplicidad, eficiencia y robustez técnica.

Este documento presenta, en primer lugar, los antecedentes y la justificación que sustentan el proyecto, seguidos de los objetivos y el alcance. Después, se desarrolla el marco teórico que aborda los fundamentos de usabilidad, accesibilidad y diseño interactivo aplicados a entornos móviles. Luego, se describe la metodología empleada para el diseño y la validación de la aplicación, junto con la implementación técnica del sistema. Por último, se exponen los resultados, las conclusiones derivadas del proceso y las recomendaciones para futuras mejoras y extensiones del sistema.

El uso de tecnologías digitales en entornos agrícolas ha transformado de manera significativa la forma en que se recopila, organiza y analiza la información generada en campo. En particular, las aplicaciones móviles y los formularios digitales han permitido reducir el uso de papel, disminuir errores manuales y mejorar la eficiencia en la captura de datos operativos. Sin embargo, las soluciones comerciales disponibles, como Digiforms, presentan limitaciones en términos de flexibilidad, control de la información y adaptabilidad a las condiciones del entorno agrícola.

En la industria actual existen diversas soluciones orientadas a la gestión agrícola móvil. Por ejemplo, herramientas como *Agroptima* han permitido a agricultores mejorar el control de costos y optimizar el uso de insumos mediante aplicaciones móviles que registran actividades diarias (Calvo, 2021). De igual forma, plataformas de código abierto como *Open Data Kit (ODK)* se han establecido como estándares para la recolección de datos en entornos con recursos limitados, permitiendo la creación de formularios lógicos y el funcionamiento sin conexión (Hartung et al., 2010). Sin embargo, la adopción de estas herramientas comerciales o genéricas suele presentar barreras de entrada relacionadas con costos de licenciamiento o curvas de aprendizaje técnico elevadas.

A pesar de que Digiforms permite operar sin conexión y organizar formularios de manera jerárquica, el diseño o modificación de estos requiere la creación de archivos de configuración técnicos que demandan la intervención de personal especializado. Además, los datos se almacenan en servidores externos, lo cual impide un control inmediato por parte del ingenio Santa Ana y genera una dependencia tecnológica de un servicio de terceros. A ello se suma que su modelo de licenciamiento implica un costo por usuario activo, lo que representa un gasto recurrente que incrementa los costos de operación. Estas condiciones limitan la autonomía, escalabilidad y sostenibilidad del sistema a largo plazo.

Frente a estas restricciones, el proyecto grupal de trabajo de graduación titulado “*Recopilación, visualización y análisis de formularios adaptables en campos de acción agrícola*” propone el desarrollo de una solución tecnológica propia y escalable, conformada por una plataforma web de gestión y una aplicación móvil enfocada en la captura de datos en campo.

La plataforma permitirá definir formularios de forma dinámica, establecer reglas condicionales y gestionar validaciones, mientras que la aplicación móvil los interpretará visualmente en dispositivos portátiles para facilitar su llenado en condiciones de conectividad limitada.

Dentro de esta arquitectura, el presente módulo se enfoca en el desarrollo del *frontend* móvil y la experiencia de usuario (UX), los cuales permiten visualizar, validar y almacenar localmente los formularios enviados desde el servidor, asegurando un funcionamiento eficiente en modo *offline*. Para ello, se implementa un motor de renderizado dinámico capaz de procesar la estructura de los formularios enviados vía API REST y desplegarlos mediante tecnologías como React Native y Expo. Asimismo, se prioriza una experiencia de usuario fluida, adaptable y accesible, considerando la diversidad de perfiles operativos del ingenio Santa Ana y las condiciones del entorno agrícola.

Durante las etapas iniciales del diseño se consideró la implementación de un módulo de exportación de datos. No obstante, tras el análisis de requerimientos y las pruebas de validación con usuarios, se determinó que dicha funcionalidad no resultaba necesaria para los colaboradores encargados de la recolección de información, y que su inclusión podría implicar riesgos potenciales en el manejo y seguridad de los datos institucionales. En consecuencia, el alcance del proyecto se delimitó a los módulos de captura, validación y sincronización de información. En lugar de dicho módulo, se implementaron las mejoras derivadas de los hallazgos obtenidos en las distintas pruebas de usabilidad realizadas, fortaleciendo la eficiencia, accesibilidad y estabilidad del sistema.

La recolección eficiente y efectiva de información en el ámbito agrícola es crucial para la toma de decisiones estratégicas y operativas. Actualmente, el ingenio Santa Ana utiliza Digiforms, una aplicación diseñada para digitalizar formularios y facilitar la captura de datos en campo (Interlink Software, S.A., 2025). Sin embargo, su implementación presenta limitaciones significativas que afectan la operatividad y la autonomía tecnológica en entornos agrícolas.

Uno de los principales inconvenientes de Digiforms es la eliminación automática de información después de un periodo determinado, lo que impide la preservación de datos históricos necesarios para el análisis a largo plazo y la planificación estratégica de la organización. Además, la configuración de formularios requiere la creación de archivos individuales para cada nuevo diseño, lo que demanda la intervención de técnicos especializados y aumenta la complejidad al momento de desplegar los cambios a producción. A ello se suma que su modelo de licenciamiento implica un costo por usuario activo, generando una dependencia económica constante de un servicio externo. Estas barreras limitan la escalabilidad, la sostenibilidad y el control interno sobre la información recolectada.

Por otro lado, la falta de estandarización en la captura de datos, junto con las condiciones adversas del entorno agrícola como la conectividad limitada y la exposición a factores climáticos, dificulta la recolección y procesamiento eficiente de la información (Zhang et al., 2002). Según Wolfert et al. (Wolfert et al., 2017), la implementación de tecnologías digitales personalizadas en la agricultura mejora la eficiencia operativa al permitir la recopilación estructurada de datos y su análisis en tiempo real. En este sentido, desarrollar una nueva herramienta digital adaptable permitirá garantizar la conservación de la información, optimizar la configuración de formularios sin requerir una intervención técnica constante y mejorar la calidad de los datos recopilados.

Además, la aplicación propuesta contribuirá a agilizar los procesos operativos relacionados con la captura y sincronización de datos en campo. Al integrar validaciones automáticas, almacenamiento local y sincronización diferida, se reduce la posibilidad de errores durante el registro, se evita la duplicidad de información y se garantiza una transmisión más eficiente

de los datos recopilados. Esto permitirá una toma de decisiones más oportuna y confiable, fortaleciendo la trazabilidad y la precisión de los registros institucionales. En consecuencia, el sistema incrementará la productividad del personal de campo y reducirá el tiempo invertido en tareas repetitivas de validación y transcripción manual.

El uso de herramientas digitales ha demostrado un impacto positivo en la gestión agrícola. Un ejemplo es Agroptima, una aplicación que permitió a un agricultor mejorar su control de costos y optimizar el uso de insumos, logrando un ahorro anual significativo (Calvo, 2021). Este caso de éxito evidencia cómo la incorporación de soluciones digitales puede traducirse en beneficios económicos y operativos tangibles para los productores agrícolas.

De esta forma, la modernización de los sistemas de recolección de datos en el ingenio Santa Ana no solo superaría las limitaciones actuales, sino que también alinearía sus operaciones con buenas prácticas de agricultura digital y *big data*, asegurando un enfoque más preciso, eficiente y sostenible (Wolfert et al., 2017).

Durante el desarrollo del proyecto, se consideró inicialmente la implementación de un módulo de exportación de datos. No obstante, tras el análisis de requerimientos y las pruebas de usabilidad realizadas, se determinó que dicha funcionalidad no era necesaria para los colaboradores encargados de la recolección de información y que su inclusión podría implicar riesgos potenciales en la seguridad y manejo de los datos institucionales. En su lugar, se priorizó la incorporación de mejoras derivadas de los hallazgos obtenidos en las distintas pruebas realizadas, tanto en laboratorio como en campo, enfocadas en optimizar el flujo de interacción, mejorar la accesibilidad y aumentar la estabilidad del sistema bajo condiciones reales de operación.

En síntesis, la creación de una herramienta digital propia permitirá al ingenio Santa Ana fortalecer su independencia tecnológica, reducir los costos operativos asociados con licencias externas y mejorar la eficiencia del proceso de recolección de datos en el campo. La solución propuesta contribuye a la modernización de la gestión agrícola, fomentando la adopción de prácticas de agricultura digital más seguras, accesibles y orientadas al usuario, a la vez que agiliza los procesos y minimiza los errores en la captura y transmisión de la información.

4.1. Objetivo general

Desarrollar una herramienta digital adaptable que optimice la recolección, análisis y visualización de datos en el sector agrícola.

4.2. Objetivos específicos

- Analizar los principales desafíos y necesidades en la recopilación de información agrícola, considerando factores climáticos, tecnológicos y de accesibilidad mediante investigación de campo.
- Desarrollar un modelo de formularios adaptables que permita capturar datos de manera flexible según el tipo de cultivo y condiciones del entorno.
- Validar la eficiencia y usabilidad de la herramienta mediante pruebas con usuarios finales en distintos contextos agrícolas.

El proyecto grupal de trabajo de graduación titulado “*Recopilación, visualización y análisis de formularios adaptables en campos de acción agrícola*” tiene como propósito desarrollar una solución tecnológica integral para la digitalización de formularios y la gestión de información en entornos agrícolas. Esta solución está conformada por una plataforma web de administración y una aplicación móvil destinada a la captura de datos en campo, permitiendo la sincronización y análisis posterior de la información recolectada.

El presente trabajo corresponde al desarrollo del módulo de *frontend* móvil y la experiencia de usuario (UX) de dicha solución. Su alcance comprende el diseño, implementación y validación de una aplicación móvil desarrollada con tecnologías *React Native* y *Expo*, capaz de operar en condiciones de conectividad limitada y adaptarse a las necesidades operativas del ingenio Santa Ana. Entre sus principales funcionalidades se destacan la interpretación dinámica de formularios obtenidos desde el servidor mediante una API REST, la captura y validación local de la información recolectada, el almacenamiento temporal de los datos y el funcionamiento en modo *offline* con sincronización automática al restablecer la conexión. Además, se aplicaron principios de usabilidad y accesibilidad que priorizan la simplicidad, la legibilidad y la eficiencia del flujo de trabajo.

Durante el desarrollo del módulo, se integraron herramientas de soporte como *Redux* y *SQLite*, utilizadas para gestionar la información que la aplicación recibe desde el backend. *Redux* permite mantener un estado global coherente en la aplicación móvil, facilitando la actualización y visualización de los formularios dinámicos, mientras que *SQLite* se emplea para el almacenamiento local de los datos recolectados, garantizando el funcionamiento del sistema en modo *offline*. Estas tecnologías no fueron desarrolladas como parte de este módulo, pero sí se configuraron e implementaron en el flujo del *frontend* para asegurar una comunicación estable y eficiente con el servidor.

El sistema desarrollado busca optimizar el proceso de recolección de datos, mejorar la experiencia del usuario y asegurar la integridad y consistencia de la información capturada. De igual forma, el proyecto contribuye a fortalecer la independencia tecnológica del ingenio Santa Ana y a reducir los costos asociados a licencias externas.

En cuanto a las delimitaciones, no se incluyó la implementación de un módulo de exportación de datos ni funcionalidades avanzadas de visualización o análisis, debido a que estas no representan una necesidad operativa para los colaboradores encargados de la captura de información y podrían implicar riesgos en la seguridad y manejo de los datos institucionales. El alcance del proyecto se concentró en garantizar la estabilidad, la eficiencia y la accesibilidad del módulo móvil, consolidando una base sólida sobre la cual se podrán desarrollar futuras extensiones del sistema.

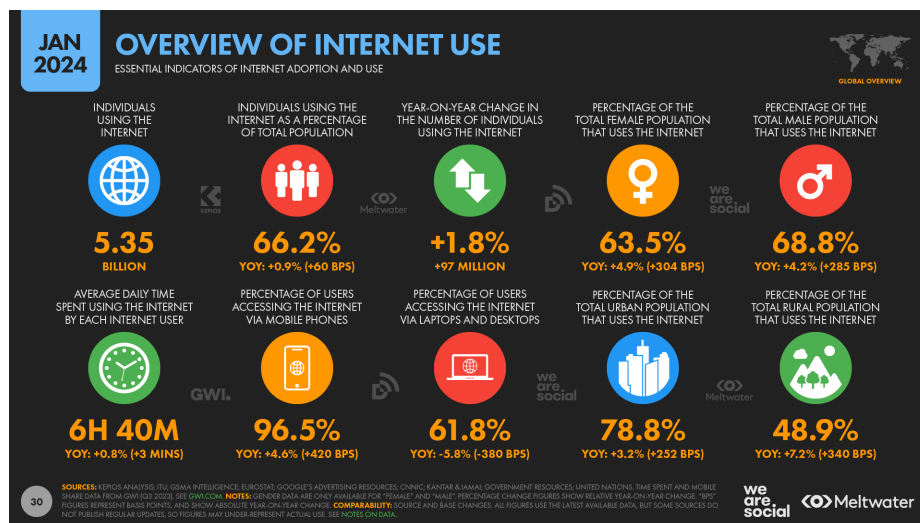
Finalmente, este módulo establece los cimientos técnicos y de diseño necesarios para la evolución del sistema en fases posteriores, que podrían incorporar herramientas de visualización, paneles administrativos o mecanismos controlados de exportación, conforme a las necesidades futuras del ingenio Santa Ana y las capacidades institucionales disponibles.

6.1. Conceptos generales

6.1.1. Desarrollo de aplicaciones móviles

El uso de dispositivos móviles se ha consolidado como la principal vía de acceso a internet a nivel global. De acuerdo con el informe *Digital 2024 Global Overview*, elaborado por DataReportal (2024), más del 95 % de los usuarios de internet se conectan mediante un teléfono inteligente, lo que convierte a las aplicaciones móviles en uno de los puntos más relevantes de digitalización en sectores productivos, educativos y sociales. Esta tendencia ha impulsado el interés de la ingeniería de *software* en metodologías que permitan equilibrar rendimiento, costos de desarrollo y escalabilidad.

Figura 1. Indicadores globales de adopción y uso de internet a enero de 2024.



Nota. Adaptado de DataReportal (2024).

En la literatura centrada en el desarrollo móvil, se reconocen tres paradigmas principales en el desarrollo de aplicaciones móviles: nativo, híbrido y multiplataforma. El desarrollo nativo se realiza utilizando los lenguajes y entornos propios de cada sistema operativo (Kotlin/Java en Android, Swift/Objective-C en iOS), lo cual asegura el máximo rendimiento y acceso completo al hardware. Sin embargo, esta estrategia implica duplicación de esfuerzos de programación, pruebas y mantenimiento, lo que incrementa significativamente el costo del ciclo de vida del *software* (Palmieri et al., 2012).

En contraste, el enfoque híbrido, basado en tecnologías web encapsuladas en contenedores nativos (*WebView*), presenta ventajas en términos de portabilidad y rapidez inicial de desarrollo, aunque sacrifica en muchos casos la experiencia de usuario y la eficiencia de ejecución, especialmente en dispositivos de gama media o baja (Malavolta, 2016). Estas limitaciones han motivado la adopción de estrategias alternativas en escenarios donde los recursos técnicos son restringidos y la heterogeneidad de dispositivos es amplia.

El tercer paradigma, conocido como multiplataforma o *cross-platform*, busca combinar lo mejor de ambos mundos mediante *frameworks* como React Native o Flutter, que permiten escribir gran parte del código una sola vez y compilarlo en componentes nativos. Estudios comparativos han demostrado que esta aproximación ofrece un rendimiento cercano al nativo y una reducción significativa en tiempos de desarrollo y mantenimiento, resultando especialmente adecuada para proyectos con recursos limitados o con necesidad de cobertura amplia (Heitkötter et al., 2012; Zarichuk, 2023).

En el contexto agrícola, caracterizado por el uso de dispositivos de gama diversa y condiciones de conectividad limitadas, el desarrollo multiplataforma no debe entenderse únicamente como una decisión tecnológica, sino como una estrategia de sostenibilidad. Este enfoque permite optimizar recursos, ampliar el alcance de la solución y asegurar que las aplicaciones resulten funcionales y accesibles para comunidades rurales, sin comprometer la usabilidad ni la calidad del sistema.

6.1.2. Diseño centrado en el usuario

El Diseño Centrado en el Usuario (DCU) constituye uno de los enfoques fundamentales de la disciplina de Interacción Humano-Computadora (HCI). Su marco de referencia principal está descrito en la norma internacional ISO 9241-210:2019, que establece los principios y actividades esenciales para el diseño de sistemas interactivos (International Organization for Standardization (ISO), 2019). Esta norma enfatiza que el diseño debe basarse en una comprensión explícita de los usuarios, sus tareas y sus entornos; que los usuarios deben participar activamente durante todo el proceso; y que el diseño debe ser iterativo, evaluado continuamente y orientado a la experiencia del usuario en contexto real.

Autores de referencia como Norman (2013) y Nielsen (1994) coinciden en que la usabilidad no es un atributo meramente estético, sino una propiedad medible que determina la efectividad, eficiencia y satisfacción con la que los usuarios logran sus objetivos (Nielsen, 1994; Norman, 2013). En este sentido, el DCU se constituye en un proceso metodológico para garantizar calidad en uso, reduciendo errores, incrementando la adopción y generando soluciones más inclusivas y confiables.

Entre las técnicas empleadas en el DCU destacan la investigación contextual, la construcción de *personas*, los mapas de experiencia de usuario (*journey maps*) y el prototipado de baja y alta fidelidad. Estas herramientas permiten traducir hallazgos cualitativos en requisitos de diseño validados directamente con usuarios (Gulliksen et al., 2003). Asimismo, la norma ISO/IEC 25002:2024 incorpora la “calidad en uso” como dimensión clave de la

evaluación de *software*, reforzando que la usabilidad y la satisfacción de los usuarios deben considerarse métricas formales de calidad en proyectos tecnológicos (International Organization for Standardization (ISO) and International Electrotechnical Commission (IEC), 2024).

En el contexto de aplicaciones para entornos rurales, el DCU cobra particular relevancia. Factores como la baja alfabetización digital, la exposición a condiciones ambientales adversas (luz solar intensa, polvo, humedad) y el uso de dispositivos de gama media o baja obligan a diseñar interfaces simples, con navegación guiada, retroalimentación inmediata y operación *offline*. El diseño centrado en el usuario, más que una buena práctica, se convierte así en un requisito para garantizar que las soluciones tecnológicas respondan a necesidades reales y sean sostenibles en el tiempo.

6.1.3. *User personas* y contexto de uso

Las *user personas* son arquetipos que sintetizan metas, comportamientos y limitaciones de grupos de usuarios a partir de evidencia recogida en campo (Dam & Teo, 2024). Permiten focalizar decisiones de diseño en necesidades reales y no en suposiciones técnicas. En el entorno agrícola del ingenio Santa Ana, la elaboración de personas puso de relieve factores como la variabilidad de la alfabetización digital, el uso de dispositivos de gama media y la operación bajo condiciones ambientales exigentes. Estas características guiaron el diseño hacia interfaces de navegación simples, retroalimentación inmediata y soporte *offline*.

Figura 2. Ejemplo de *user persona* basada en patrones observados durante las pruebas de campo.

Tomás Pérez

Biografía
Tomás lleva más de 15 años trabajando en el ingenio. Antes tomaba datos en papel, pero ahora usa la app asignada en su celular de trabajo. No le gusta experimentar con botones desconocidos ni navegar por menús complejos. Solo quiere que la app funcione bien, rápido y sin errores. Le cuesta leer textos pequeños y no siempre sabe si un formulario fue enviado.

Necesidades

- Acceder fácil al formulario que necesita sin perderse entre menús.
- Ver claramente qué debe llenar y qué campos le faltan.
- Usar botones grandes y texto legible.
- Saber si ya terminó su tarea y si se guardó bien.

Frustraciones

- Formularios con campos que no entiende.
- No saber si la información fue enviada o no.
- Aplicaciones lentas o que requieren conexión constante.
- Mucho texto sin íconos que lo orienten.

Personalidad
Responsable Constante
Poca afinidad con tecnología

Herramientas frecuentes

- Papel y bolígrafo (aún lo prefiere en algunos casos)
- Digiforms (con acompañamiento y entrenamiento básico)
- Linterna del celular (usos generales en campo)
- Llamadas de voz (canal principal de comunicación)

Plataformas
App móvil

“ Solo quiero que me diga qué llenar y que me avise cuando ya esté listo.”

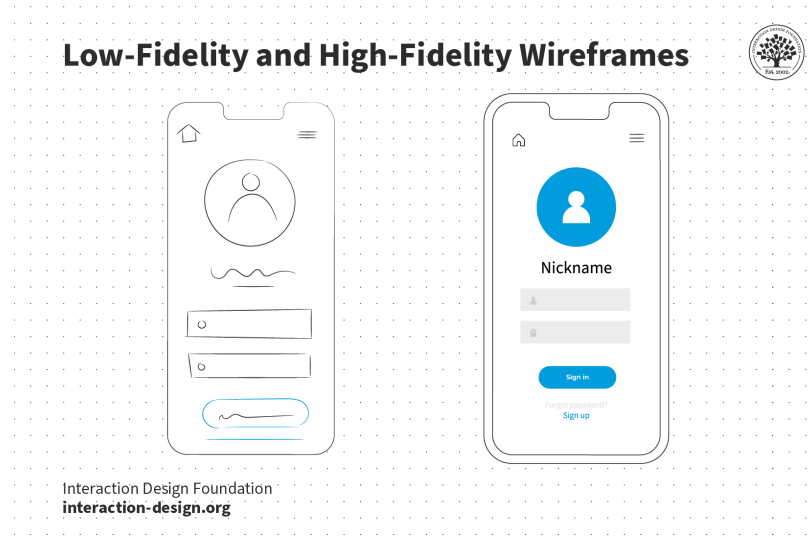
EDAD: 45
EDUCACIÓN: Primaria incompleta
ESTADO: Casado, 3 hijos
OCUPACIÓN: Operador de campo
UBICACIÓN: Zona rural remota
NIVEL TECNOLÓGICO: Bajo

Nota. Elaboración propia.

6.1.4. Wireframes y prototipado de interfaces

Los *wireframes* permiten validar de forma temprana la estructura, jerarquía y flujo de la interfaz sin distracciones estéticas (The Interaction Design Foundation (IXDF), 2024). Combinados con prototipos de alta fidelidad en herramientas como Figma, facilitan ciclos iterativos de evaluación y refinamiento con usuarios, lo que reduce el riesgo de errores de diseño en etapas tardías. En contextos rurales, *wireframes* claros y jerárquicos favorecen la comprensión de tareas en condiciones de alta luminosidad y baja familiaridad tecnológica.

Figura 3. Ejemplo comparativo de *wireframes* de baja y alta fidelidad.



Nota. Adaptado de Interaction Design Foundation (2024).

6.1.5. Arquitecturas de *software* para *frontend*

La arquitectura de *software* constituye un elemento crítico en el desarrollo de sistemas interactivos, ya que define la estructura, los componentes principales y las relaciones entre ellos. Bass, Clements y Kazman (2012) señalan que las decisiones arquitectónicas influyen directamente en atributos de calidad como mantenibilidad, escalabilidad, eficiencia y facilidad de evolución (Bass et al., 2012). En el caso de las interfaces de usuario, estas decisiones impactan de forma particular en la coherencia visual, la usabilidad y la capacidad de adaptación a dispositivos y contextos diversos.

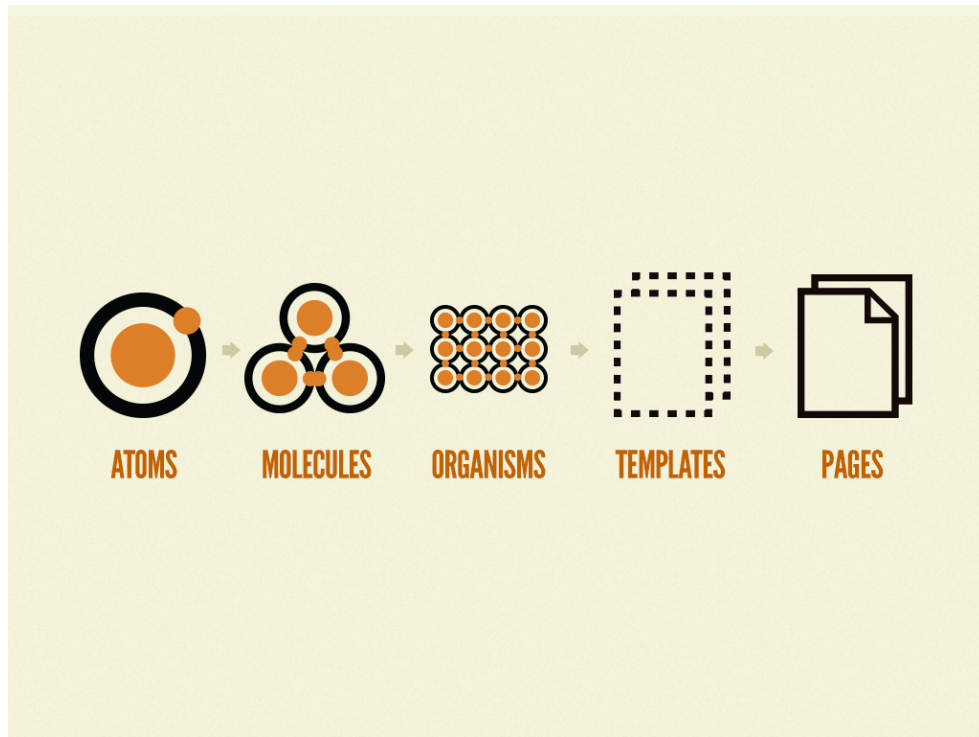
El desarrollo de interfaces comenzó con aplicaciones monolíticas donde la lógica de negocio, la gestión de datos y la presentación estaban estrechamente acopladas. Para superar las limitaciones de este modelo, surgieron patrones arquitectónicos como MVC (Model-View-Controller), MVP (Model-View-Presenter) y MVV (Model-View-ViewModel), que promueven la separación de responsabilidades y facilitan el mantenimiento y la testabilidad (Bidkar, 2023). En entornos móviles, donde los requisitos de portabilidad y eficiencia son críticos, estos patrones contribuyen a reducir la complejidad y mejorar la experiencia del usuario.

En la última década, las arquitecturas de *frontend* han evolucionado hacia modelos basados en componentes, especialmente con la adopción de *frameworks* como React, Angular o Vue. Heitkötter et al. (2012) identifican que los enfoques basados en componentes favorecen

la modularidad, el bajo acoplamiento y la reusabilidad, atributos que impactan de manera directa en la calidad y productividad del desarrollo (Heitkötter et al., 2012). Asimismo, Kothapalli (2021) documenta cómo la evolución de las arquitecturas *frontend* hacia paradigmas basados en componentes ha permitido construir sistemas más escalables y sostenibles en el tiempo, gracias a principios de encapsulación y reutilización (Kothapalli, 2021).

Una extensión de este enfoque son los denominados *design systems*, que constituyen repositorios estandarizados de componentes visuales y patrones de interacción. Gulliksen et al. (2003) destacan que este tipo de prácticas contribuye a la consistencia y reduce la carga cognitiva de los usuarios, al tiempo que acelera la colaboración entre equipos multidisciplinarios (Gulliksen et al., 2003). Este principio conecta directamente con propuestas como *atomic design*, que descompone las interfaces en átomos, moléculas, organismos, plantillas y páginas, lo que permite una mayor coherencia y escalabilidad en proyectos de gran tamaño (Frost, 2016).

Figura 4. Jerarquía de componentes en *atomic design*: átomos, moléculas, organismos, plantillas y páginas.



Nota. Adaptado de Frost (2016).

En el caso de aplicaciones móviles dirigidas a entornos rurales, la adopción de arquitecturas de *frontend* basadas en componentes y sistemas de diseño no solo responde a criterios de eficiencia técnica, sino también a la necesidad de garantizar interfaces consistentes, legibles y mantenibles en un contexto de dispositivos heterogéneos y condiciones de conectividad limitadas. La arquitectura, en este sentido, se convierte en un factor determinante para asegurar la sostenibilidad y calidad del sistema en el tiempo.

6.1.6. Retos de la digitalización en entornos rurales

La digitalización en entornos rurales enfrenta desafíos estructurales que difieren significativamente respecto a los contextos urbanos. La literatura identifica limitaciones técnicas, económicas y sociales que condicionan la adopción de soluciones digitales: conectividad insuficiente, costo elevado de los servicios de datos móviles, dispositivos de baja gama y alfabetización digital limitada (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Telecommunication Union (ITU), 2022; United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2023). Según la FAO y la ITU (2022), uno de los principales retos en el ámbito agropecuario es la falta de interoperabilidad y estandarización de datos, lo que dificulta la integración de plataformas y la generación de información confiable para la toma de decisiones. La UNESCO (2023), en su informe sobre tecnología y educación, resalta que la adopción tecnológica en entornos rurales exige interfaces simples, contenidos relevantes, soporte multilingüe y soluciones que operen tanto en línea como fuera de línea (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2023).

Asimismo, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) subraya que la brecha digital no se limita al acceso físico a la conectividad, sino también al “uso significativo” de internet, lo cual implica contar con competencias digitales, contenidos culturalmente relevantes y servicios que respondan a necesidades locales (International Telecommunication Union (ITU), 2024). En este sentido, la digitalización rural exige soluciones que integren diseño centrado en el usuario, eficiencia energética, simplicidad visual, interoperabilidad con estándares abiertos (CSV, JSON) y mecanismos de protección de datos sensibles como registros de producción o ubicación de parcelas.

En síntesis, los retos de la digitalización en contextos rurales no son únicamente tecnológicos, sino multidimensionales. Abarcan desde las limitaciones técnicas de los dispositivos y la conectividad hasta factores sociales y culturales que influyen en la adopción. En consecuencia, cualquier propuesta tecnológica debe considerar estas restricciones como requisitos de diseño para garantizar su viabilidad, sostenibilidad y valor real para las comunidades rurales.

6.2. Estructura y principios de diseño

6.2.1. *Design thinking* como metodología centrada en el usuario

Design thinking es un enfoque metodológico ampliamente adoptado en el diseño de productos digitales centrado en comprender profundamente las necesidades del usuario para resolver problemas complejos de forma creativa y funcional. Esta metodología, propuesta originalmente por David Kelley y Tim Brown, fundadores de IDEO, plantea un proceso iterativo, flexible y no lineal que permite diseñar soluciones alineadas a las verdaderas necesidades del usuario (Brown, 2009).

A diferencia de enfoques tradicionales orientados únicamente a la viabilidad técnica, en este se propone una aproximación basada en la comprensión del contexto y del usuario final, lo que resulta especialmente valioso en escenarios como el agrícola, donde las condiciones de uso son diversas y exigentes (Kelley & Kelley, 2013). Su proceso está compuesto por cinco etapas: empatizar, definir, idear, prototipar y testear.

Durante la fase de empatía, se recopila información cualitativa sobre los usuarios y su entorno mediante entrevistas, observación directa y elaboración de perfiles como los *user*

personas. Esta etapa permite comprender factores como la baja alfabetización digital, el uso de dispositivos con especificaciones limitadas o la operación en entornos de alta exposición climática.

A partir de la información obtenida, se procede a definir los problemas centrales. Esta etapa se enfoca en sintetizar los hallazgos previos para delimitar oportunidades de diseño concretas, como, por ejemplo, la necesidad de operar sin conexión a internet o reducir errores en la captura de datos.

En la fase de ideación, se generan múltiples soluciones posibles sin descartar ninguna forma anticipada. En este punto surgen propuestas de interfaces simples, flujos lineales o validaciones visuales, adaptadas al entorno operativo del usuario agrícola (Plattner et al., 2011).

Luego, en la fase de prototipado, las ideas seleccionadas se materializan en modelos interactivos o visuales de baja y alta fidelidad. Estos prototipos permiten validar tempranamente la estructura, distribución y comportamiento de la aplicación, mediante herramientas como Figma o bocetos funcionales (Brown, 2009).

Finalmente, la etapa de testeo permite evaluar los prototipos con usuarios reales, obteniendo retroalimentación directa sobre la funcionalidad, comprensión y experiencia general. Este proceso se repite iterativamente hasta lograr una solución óptima.

El valor del *design thinking* se encuentra en su flexibilidad y su enfoque centrado en el usuario, lo que permite abordar problemáticas complejas mediante soluciones iterativas, empáticas y adaptadas al contexto real de uso. Diversos estudios y aplicaciones han demostrado su efectividad en el diseño de productos digitales que requieren altos niveles de interacción humana, especialmente en entornos variables o con múltiples restricciones operativas (Brown, 2009; Plattner et al., 2011).

6.2.2. Principios de UX/UI aplicados a contextos rurales

El diseño de experiencia de usuario (UX) y de interfaces de usuario (UI) tiene como objetivo optimizar la interacción entre personas y sistemas digitales, priorizando aspectos como la usabilidad, la accesibilidad, la eficiencia y la satisfacción de usuario (Norman, 2013). Sin embargo, en entornos rurales y agrícolas, donde las condiciones de uso pueden ser adversas, estos principios deben adaptarse a un conjunto distinto de restricciones técnicas y contextuales.

En estos escenarios, los usuarios suelen interactuar con sistemas bajo luz solar directa, con conectividad intermitente, utilizando guantes o con las manos sucias, en dispositivos de gama media o baja, y en muchos casos un nivel limitado de alfabetización digital. Como señalan Medhi et al., el diseño de interfaces de usuarios con baja familiaridad tecnológica debe reducir la complejidad visual, minimizar la carga cognitiva y priorizar flujos de interacción simples y directos (Medhi et al., 2006).

Entre los principios fundamentales a considerar en el diseño UX/UI para estos contextos se encuentran:

- Simplicidad visual y jerarquía clara de información, reduciendo distracciones y enfocando el usuario en la tarea principal (Krug, 2014).
- Botones grandes y zonas táctiles amplias, que faciliten la interacción incluso con guantes o en condiciones de humedad o polvo.

- Contrastes de color adecuados y tipografías legibles, para permitir la visibilidad bajo distintas condiciones de luz.
- Flujos lineales y navegación guiada, que eviten la necesidad de explorar menús complejos o estructuras jerárquicas profundas.
- Retroalimentación visual inmediata, que comunique de forma clara cuándo se completa una acción, cuándo ocurre un error o cuándo se requiere una validación.
- Minimización del texto técnico, priorizando íconos intuitivos, imágenes o explicaciones simples.

Además, la accesibilidad debe abordarse no solo desde una perspectiva de inclusión para personas con discapacidad, sino también considerando la diversidad funcional de los usuarios en campo, quienes pueden enfrentar dificultades visuales temporales, fatiga o entornos ergonómicos (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2023).

Estas recomendaciones no son exclusivamente teóricas. La revisión funcional de soluciones actualmente implementadas, como Digiforms, revela carencias importantes en cuanto a contraste, retroalimentación y fluidez de navegación, lo cual refuerza la necesidad de aplicar principios sólidos de diseño UX/UI adaptados al medio rural. La aplicación correcta de estos permite reducir errores operativos, aumentar la adopción tecnológica y mejorar la recolección de datos en entornos complejos.

6.2.3. Teoría del color en el diseño de interfaces

La teoría del color constituye un pilar en el diseño de interfaces de usuario, ya que los colores no solo cumplen una función estética, sino que también transmiten significados y afectan directamente la percepción y usabilidad de los sistemas digitales. Según Lidwell, Holden y Butler (2010), el uso estratégico del color permite guiar la atención, reforzar jerarquías visuales y comunicar estados del sistema.

En entornos rurales, donde las condiciones de luz suelen ser extremas, resulta fundamental emplear combinaciones cromáticas con alto contraste que aseguren la visibilidad en dispositivos de diferentes gamas. Asimismo, la aplicación de paletas limitadas y consistentes reduce la carga cognitiva y facilita que usuarios con baja alfabetización digital comprendan rápidamente el estado de la interfaz.

El color también funciona como canal de retroalimentación inmediata: el verde suele asociarse a confirmación o éxito, el rojo a error o alerta, y el amarillo a advertencias intermedias (Ware, 2013). Estos patrones se alinean con convenciones internacionales, aumentando la familiaridad y la eficiencia en la interacción.

Desde la perspectiva de accesibilidad, es esencial contemplar a usuarios con deficiencias visuales como el daltonismo. Por ello, el W3C recomienda asegurar un contraste mínimo de 4.5:1 en textos e iconografía, además de complementar la codificación por color con íconos o etiquetas (World Wide Web Consortium (W3C), 2024b).

Figura 5. Matriz de cumplimiento de contraste según normas WCAG 2.1.

WCAG 2.0	Grey	Yellow	Orange	Red	Purple	Blue	Teal	Green	Light Green
AAA contrast > 7:1	DDDDDD	FFF3AA	F9CCB3	EDADB9	C9AACD	95CDE5	95D5CF	95D7BE	E8F0C3
	454545	5C5000	692E0C	640414	3B1A43	003950	003D37	004027	474F1D
AA & AAA (18pt+) contrast > 4.5:1	CCCCCC	FFED80	F6B38D	E58496	B489B9	80C4E0	80CCC5	80CFB1	DDE8A6
	545454	786800	83390E	710518	471D4D	004F71	00544C	005736	5D6927
AA (18pt+) contrast > 3:1	BBBBBB	FFE655	F4A679	E06F85	A978AF	55B0D5	55BBB2	55BF96	D7E497
	646464	948100	A14612	8D0621	5D2564	005A7D	006159	00663F	72802E

Nota. Adaptado de Gratzner Graphics (2024) (Gratzner Graphics LLC, 2021).

En síntesis, la correcta aplicación de la teoría del color contribuye a interfaces más inclusivas, funcionales y adaptadas a los retos del entorno agrícola.

6.3. Tecnologías y herramientas utilizadas

6.3.1. Desarrollo multiplataforma con React Native y Expo

El desarrollo de aplicaciones móviles en entornos de ingeniería moderna demanda soluciones que equilibren eficiencia, escalabilidad y mantenimiento a largo plazo. React Native, un *framework* de código abierto desarrollado por Meta, permite construir aplicaciones móviles nativas para Android e iOS utilizando una única base de código escrita en JavaScript y React (Bin Uzayr, 2022). Esta característica es particularmente relevante en contextos donde los recursos de desarrollo son limitados o se requiere una alta eficiencia operativa, como sucede en este proyecto.

En cuanto a su arquitectura, React Native opera mediante un modelo de hilos paralelos. La lógica de negocio se ejecuta en el *JavaScript thread*, mientras que la interfaz gráfica es gestionada por el *main thread* (o hilo nativo UI). Para lograr la comunicación entre ambos entornos, el *framework* utiliza un mecanismo denominado “bridge” (puente), el cual serializa los mensajes en formato JSON de manera asíncrona. Además, el cálculo de la disposición de los elementos visuales se delega a un motor de diseño llamado *Yoga*, que traduce las instrucciones de estilo basadas en Flexbox a coordenadas nativas comprensibles por el dispositivo móvil (Bin Uzayr, 2022).

A diferencia de otros enfoques híbridos basados en *WebView*, React Native se comunica con componentes nativos directamente a través de un puente, lo que permite alcanzar un rendimiento cercano al desarrollo nativo. Desde una perspectiva computacional, esto reduce significativamente los costos de procesamiento redundante y mejora el tiempo de respuesta en dispositivos móviles de gama media, un aspecto crítico en el entorno agrícola donde no siempre se dispone de equipos de última generación (Sridharan, 2020).

Un componente esencial en este ecosistema es Expo, una plataforma que facilita el desarrollo con React Native al ofrecer un entorno preconfigurado, herramientas de despliegue, manejo de permisos, acceso a sensores del dispositivo y actualizaciones OTA (over-the-air). La integración de Expo elimina muchas de las fricciones técnicas asociadas a la configuración de entornos nativos, acelerando el ciclo de desarrollo y permitiendo pruebas inmediatas desde dispositivos físicos, lo cual resulta clave en un entorno iterativo (650 Industries, Inc., 2025).

React Native también habilita la integración de herramientas de almacenamiento local como AsyncStorage o MMKV, lo cual permite asegurar la persistencia de datos en condiciones de conectividad limitada. Asimismo, su compatibilidad con bibliotecas de estilizado modernas como Nativewind o styled-components favorece el diseño de interfaces flexibles y adaptativas, sin sacrificar modularidad ni legibilidad del código.

La decisión de adoptar React Native no responde únicamente a criterios de popularidad o tendencia tecnológica, sino a una evaluación práctica y técnica sobre su capacidad de atender los requerimientos de una aplicación móvil robusta en condiciones reales de uso. En efecto, estudios recientes han demostrado que los *frameworks* multiplataforma son altamente efectivos cuando se busca mantener una arquitectura escalable y un ciclo de desarrollo ágil en sistemas distribuidos o interconectados (Jošt & Taneski, 2025).

Desde el punto de vista de ingeniería de *software*, esta elección representa una solución estratégica que optimiza recursos, permite alcanzar cobertura multiplataforma real y asegura que los esfuerzos invertidos en la implementación se traduzcan en una aplicación utilizable, mantenible y extensible a futuro.

Para formalizar la selección de la tecnología, se realizó un análisis comparativo frente a otras alternativas de mercado como Flutter y las Aplicaciones Web Progresivas (PWA). Como se observa en el Cuadro 1, React Native ofrece el equilibrio óptimo entre rendimiento nativo, soporte *offline* robusto y disponibilidad de talento en el mercado.

Cuadro 1. Matriz de decisión tecnológica para el desarrollo del módulo móvil.

Criterio	React Native + Expo	Flutter	PWA
Lenguaje y talento	JS/TS (63.6 % y 39 % de adopción global) (Stack Overflow, 2023)	Dart (baja adopción, <6 %)	JS, limitado a entorno web
Rendimiento	Cercano a nativo (arquitectura Fabric/JSI) (Bin Uzayr, 2022)	Nativo real (motor Skia)	Limitado (depende del WebView)
Soporte <i>offline</i>	Soporte completo (SQ-Lite nativo)	Parcial (vía plugins)	Limitado (IndexedDB con cuotas)
Ecosistema	npm + comunidad masiva	pub.dev (en crecimiento)	Estándares web
Mantenimiento	Base de código única + Actualizaciones OTA (650 Industries, Inc., 2025)	Base de código única	Requiere navegador actualizado

Nota. Elaboración propia.

6.4. Arquitectura de componentes con *atomic design*

La organización estructural del código fuente en aplicaciones de *frontend* modernas no debe responder únicamente a criterios estéticos o de funcionalidad inmediata, sino a principios sólidos de arquitectura de *software* que promuevan la reusabilidad, la escalabilidad y el mantenimiento a largo plazo. En este contexto, el enfoque *atomic design*, propuesto por Brad Frost (2016), representa una metodología robusta para estructurar sistemas de diseño mediante la descomposición jerárquica de la interfaz en componentes reutilizables.

Atomic design se basa en la analogía de los sistemas biológicos y químicos, y estructura los elementos visuales de la aplicación basada en los siguientes cinco niveles (Frost, 2016):

- **Átomos:** representan los elementos más básicos e indivisibles de la interfaz, como botones, etiquetas de texto o *inputs*.
- **Moléculas:** son combinaciones de átomos que forman bloques funcionales simples y operativos, como un campo de búsqueda unido a un botón.
- **Organismos:** consisten en agrupaciones complejas de moléculas que conforman secciones completas y reconocibles de una interfaz.
- **Templates (plantillas):** estructuras de nivel de página que definen el esqueleto y la disposición del contenido sin datos reales.
- **Pages (páginas):** instancias específicas de las plantillas donde se ha inyectado contenido real y representativo.

Esta arquitectura es especialmente útil en proyectos con requisitos dinámicos, como el que se presenta, donde los formularios pueden cambiar constantemente y deben ser renderizados de forma flexible en distintos dispositivos. Según estudios recientes sobre arquitecturas orientadas a componentes, el uso de patrones como *atomic design* mejora la productividad del desarrollo y reduce errores al permitir una mayor cohesión entre elementos visuales y lógicos (Kothapalli, 2021).

La adopción de *atomic design* en este proyecto busca garantizar que cada parte de la interfaz, desde los campos de formulario hasta las pantallas completas, pueda ser construida, probada y mantenida de forma independiente.

6.5. Estilización en React Native: *styled components* y *NativeWind*

En el diseño y desarrollo de interfaces móviles, la estilización no es únicamente un aspecto estético, sino una dimensión crítica de la experiencia de usuario (UX) que influye directamente en la usabilidad, accesibilidad y eficiencia de interacción. La elección de las herramientas de estilizado en el desarrollo de una aplicación móvil debe considerar factores como la coherencia visual, la mantenibilidad del código y la adaptabilidad a distintos contextos de uso.

Styled components, introducido por Buehler y Rasch, representa una evolución en la forma de gestionar estilos en aplicaciones de React y React Native. Utiliza *tagged template literals* de JavaScript para escribir estilos CSS encapsulados a nivel de componente, garantizando que cada módulo de la interfaz mantenga su propio alcance de estilos (*scoped styles*).

6.6. Integración y manejo de datos

6.6.1. Accesibilidad y diseño responsivo en aplicaciones móviles

La accesibilidad en el desarrollo móvil busca garantizar que personas con diversas capacidades (visuales, auditivas, motoras o cognitivas) puedan utilizar la aplicación de forma efectiva y equitativa (World Wide Web Consortium (W3C), 2024b). Para lograrlo, es necesario seguir lineamientos internacionales como las *web content accessibility guidelines* (WCAG) del W3C, cuya versión 2.1 extiende recomendaciones específicas para dispositivos móviles (World Wide Web Consortium (W3C), 2018). Entre estas recomendaciones destacan: asegurar suficientes niveles de contraste de color para una correcta legibilidad bajo luz solar intensa, proveer textos alternativos para contenido no textual, habilitar la navegación mediante teclado o asistente de voz y evitar apoyarse únicamente en señales de color para transmitir información crítica. Asimismo, se deben ofrecer *targets* táctiles suficientemente grandes y espaciados (mínimo 7–10 mm en pantalla) que faciliten la interacción con los dedos, incluso en condiciones de uso difíciles, como ocurre en labores de campo o con guantes.

En paralelo, el diseño responsivo se encarga de que la interfaz de la aplicación se adapte fluidamente a distintos tamaños de pantalla y orientaciones de dispositivo. Si bien en aplicaciones nativas móviles los principios de *responsive design* se aplican principalmente a la variedad de resoluciones y densidades de pantalla, el concepto subyacente es similar al del entorno web: crear diseños flexibles que reorganicen u oculten elementos según el espacio disponible, sin perder funcionalidad ni claridad. WCAG 2.1 incorpora el criterio de *reflow*, que establece que el contenido debe poder presentarse en pantallas pequeñas sin necesidad de desplazamiento horizontal, adaptándose hasta un ancho equivalente a 320px CSS (World Wide Web Consortium (W3C), 2018). Esto garantiza que en teléfonos de gama baja o pantallas reducidas, los elementos (menús, formularios, imágenes) conserven legibilidad y jerarquía visual. Asimismo, la pauta de orientación exige que la aplicación funcione tanto en modo vertical como horizontal, respetando la preferencia del usuario.

Integrar accesibilidad y diseño responsivo desde las primeras etapas de desarrollo es fundamental en el contexto rural. Por un lado, mejora la inclusión tecnológica, permitiendo que adultos mayores o usuarios con baja alfabetización digital naveguen con mayor facilidad mediante interfaces visuales e iconografía clara. Por otro, garantiza que la aplicación pueda ejecutarse en una amplia gama de dispositivos disponibles en campo, adaptándose automáticamente a sus limitaciones de pantalla y manteniendo una presentación óptima de los datos. En suma, accesibilidad y diseño responsivo no son atributos opcionales, sino requisitos de calidad que incrementan la resiliencia y alcance de la solución móvil, alineados con las mejores prácticas recomendadas por la W3C y la industria de la usabilidad (World Wide Web Consortium (W3C), 2024b).

6.6.2. Interoperabilidad y formatos de datos abiertos

La interoperabilidad constituye un principio fundamental en el diseño de sistemas de información, especialmente en contextos donde los datos recolectados deben integrarse con plataformas externas o repositorios institucionales. En el ámbito agrícola, la información generada en campo suele requerir su consolidación con sistemas administrativos, analíticos o de trazabilidad, por lo que es esencial adoptar formatos de intercambio estructurados y abiertos que faciliten la reutilización y el análisis (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Telecommunication Union (ITU), 2022).

Entre los formatos más utilizados destacan CSV (valores separados por comas) y JSON (*JavaScript Object Notation*), ambos ampliamente reconocidos por organismos internacionales como la FAO y el W3C por su sencillez, portabilidad y capacidad de integración (Ecma International, 2017; Shafranovich, 2005).

El formato CSV se caracteriza por su estructura plana y su compatibilidad con la mayoría de herramientas de análisis y hojas de cálculo. Cada línea del archivo representa un registro y las columnas se separan por comas (u otro delimitador definido), lo que permite su lectura tanto por humanos como por máquinas (Shafranovich, 2005). De acuerdo con las recomendaciones de la Iniciativa de Datos Abiertos del Gobierno de España, CSV es el formato más común en catálogos públicos debido a su interpretabilidad y su interoperabilidad (Gobierno de España, 2023). Para garantizar su consistencia, las buenas prácticas establecen incluir encabezados, codificación *UTF-8* y el uso de comillas para escapar caracteres especiales o saltos de línea.

Por su parte, el formato JSON, definido por la especificación ECMA-404 y estandarizado en la RFC 7159, organiza la información mediante una estructura jerárquica de pares clave-valor (Ecma International, 2017). Esta estructura resulta especialmente útil en arquitecturas orientadas a servicios, donde los datos se transmiten entre APIs o sistemas móviles, permitiendo representar formularios y registros de forma flexible y sin pérdida de estructura.

Adoptar estándares abiertos como CSV y JSON ofrece tres beneficios principales: (1) *interoperabilidad*, al integrarse fácilmente con otros sistemas y plataformas; (2) *sostenibilidad*, al garantizar la legibilidad de los datos en el tiempo sin depender de *software* propietario; y (3) *transparencia*, al posibilitar que diferentes actores —investigadores, instituciones o productores— accedan a la información y la utilicen en procesos de análisis o mejora continua.

En el marco de este proyecto, la interoperabilidad no se limita a la exportación directa de datos desde la aplicación móvil, sino que se concibe como un principio de diseño que asegura la compatibilidad futura del sistema con herramientas de análisis, visualización y toma de decisiones, en concordancia con las recomendaciones de la FAO y el W3C (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Telecommunication Union (ITU), 2022; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2021; World Wide Web Consortium (W3C), 2024a).

6.6.3. Seguridad en aplicaciones móviles

La seguridad es un requisito transversal en el desarrollo móvil y debe abordarse desde el diseño. El proyecto adopta como referencia el *OWASP Mobile Security Project – Top 10 Risks*, que sintetiza los principales vectores de riesgo en apps móviles y orienta controles prácticos para mitigarlos (OWASP Foundation, Inc., 2024). Entre las categorías más relevantes para este contexto se encuentran: almacenamiento inseguro de datos (M1), comunicación insegura (M3), autenticación y autorización deficientes (M4–M5), validación insuficiente de entradas (M7) y exposición de información sensible por registros o depuración (M10).

En consecuencia, se priorizaron medidas compatibles con las restricciones operativas del entorno agrícola: (i) persistencia local con almacenamiento seguro y limpieza periódica de sesiones; (ii) validaciones en punto de captura para reducir errores y evitar inyecciones; (iii) confirmaciones de envío y manejo explícito de estados para prevenir duplicidad; (iv) sincronización diferida bajo canales cifrados; y (v) minimización de *logs* con datos sensibles. Estas prácticas se alinean con lineamientos de gestión de seguridad de la información y buenas prácticas institucionales (International Organization for Standardization (ISO), 2013), reforzando la trazabilidad y la protección de datos en escenarios de conectividad limitada.

El desarrollo del módulo de *frontend* para la recolección de datos en campos de acción agrícola se llevó a cabo bajo un enfoque centrado en el usuario, inspirado en los principios del *design thinking* (Brown, 2009; Kelley & Kelley, 2013; Plattner et al., 2011). Este marco metodológico permitió estructurar el proceso desde la comprensión profunda de las necesidades de los colaboradores del ingenio Santa Ana hasta la validación final de la aplicación en su entorno operativo. El objetivo principal fue diseñar e implementar una herramienta móvil robusta, intuitiva y funcional, adaptada a condiciones rurales con baja conectividad, alta exposición ambiental y diversidad de perfiles de usuario. Las decisiones metodológicas se justifican también en experiencias previas de diseño orientado a la usabilidad y accesibilidad (Krug, 2014; Medhi et al., 2006; Norman, 2013).

7.1. Fase I: empatía y diagnóstico inicial

Durante esta fase se realizó un análisis comparativo entre herramientas de recolección de datos actualmente utilizadas, con especial énfasis en la herramienta Digiforms. El objetivo fue identificar limitaciones técnicas, operativas y económicas que afectaban la eficiencia del trabajo en campo. Se observó que la dependencia de licencias por usuario y la rigidez en la configuración de formularios generaban altos costos y reducida flexibilidad.

En paralelo, se desarrolló un proceso de empatía con los usuarios finales, que incluyó observación directa de labores agrícolas, entrevistas breves y una encuesta estructurada aplicada a colaboradores del ingenio. Este instrumento permitió conocer el nivel de alfabetización digital, los tipos de dispositivos empleados, las condiciones de iluminación y las principales dificultades durante la captura de datos.

7.1.1. Revisión funcional de Digiforms

Digiforms es una herramienta multiplataforma empleada en el ingenio Santa Ana para la recolección digital de datos agrícolas. Aunque permite sustituir el uso de papel y operar sin conectividad (ver Cuadro 2), su evaluación técnica permitió identificar diversas limitaciones operativas. Estos hallazgos, fundamentales para el rediseño propuesto, se resumen en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Características funcionales de la herramienta actual.

Categoría	Descripción
Compatibilidad multi-plataforma	Instalación en dispositivos Android y iOS sin requerir configuraciones complejas.
Operación <i>offline</i>	Los formularios pueden llenarse en entornos sin conexión, con posibilidad de sincronización posterior.
Jerarquización de formularios	Organización visual clara a través de carpetas y subcategorías, facilitando el acceso rápido por área o categoría.
Interfaz funcional	Presenta los formularios en bloques estructurados por secciones, con componentes como campos de texto, listas desplegables y botones de selección.
Asignación de tareas	Soporta la asignación específica de formularios por usuario.
Envío manual de base de datos	Permite enviar los datos recolectados a un servidor o repositorio central mediante acciones explícitas del usuario.
Inicio de sesión básico	Dispone de un sistema de autenticación compuesto por cliente, usuario y contraseña, lo cual permite un acceso controlado, pero sin niveles avanzados de gestión de permisos o personalización de interfaz.

Nota. Elaboración propia.

Cuadro 3. Limitaciones técnicas y operativas de la herramienta actual.

Categoría	Descripción
Sin generación dinámica de formularios	Cualquier cambio en la estructura de un formulario requiere intervención técnica, ya que los formularios se crean mediante archivos de configuración individuales.
Ausencia de validaciones robustas	Algunos campos pueden quedar sin completar o ser llenados con valores inconsistentes, al no contar con validaciones declarativas o condicionales.
Pérdida de datos no sincronizados	Si el usuario olvida sincronizar antes de cerrar sesión o reinstalar la aplicación, se pierde la información capturada.
Interfaz poco adaptable	Aunque funcional, no presenta una experiencia responsiva optimizada para todos los tamaños de pantalla ni adapta sus componentes a usuarios con necesidades de accesibilidad.
Falta de exportación por parte del usuario	Los usuarios no pueden decidir el formato de salida ni extraer los datos directamente. La exportación depende de procesos externos.
Escasa retroalimentación de estado	No hay alertas visuales claras cuando se completa un formulario, se sincroniza o si existieron errores.
Inicio de sesión limitado	Aunque existe autenticación, no permite una gestión granular de roles ni personalización dinámica de funcionalidades según el perfil del usuario.

Nota. Elaboración propia.

7.1.2. Evaluación con base en estándares de buenas prácticas

De acuerdo con las pautas del W3C sobre accesibilidad (WCAG 3.0), la herramienta Digiforms presenta limitaciones en varios aspectos fundamentales que afectan la usabilidad en entornos agrícolas:

- **Contraste insuficiente:** algunos textos y botones presentan bajo contraste al utilizarse en condiciones de alta luminosidad, dificultando la lectura y reconocimiento visual.
- **Zonas activas reducidas:** las áreas interactivas son pequeñas, lo que dificulta la manipulación de la interfaz en campo, especialmente cuando los usuarios emplean guantes o tienen las manos sucias.
- **Ausencia de etiquetas claras:** no se presentan indicaciones o instrucciones de campo consistentes, lo que incrementa la probabilidad de errores durante la captura de información.

Estas deficiencias reducen la eficiencia de captura de datos, incrementan el riesgo de errores en las entradas y afectan la experiencia del usuario en ambientes rurales complejos.

7.1.3. Condiciones del entorno agrícola y retos prácticos

El análisis se realizó considerando las condiciones reales del ingenio Santa Ana, observando el desempeño de la aplicación en entornos de trabajo agrícola:

- **Clima:** los operadores suelen trabajar bajo el sol directo, lluvia o polvo, lo que demanda interfaces legibles, con alto contraste y componentes visuales robustos.
- **Accesibilidad limitada:** el uso de guantes, la alta luminosidad y la fatiga visual influyen negativamente en la interacción con formularios pequeños o con contraste insuficiente.
- **Dispositivos heterogéneos:** los usuarios emplean teléfonos móviles con distintas resoluciones y capacidades técnicas, lo cual exige una solución adaptable y eficiente.
- **Conectividad intermitente:** en varias zonas del ingenio no existe señal móvil constante, por lo que se requiere un funcionamiento offline confiable y almacenamiento local persistente.
- **Carga cognitiva:** muchos trabajadores completan múltiples formularios por jornada; la ausencia de validaciones automáticas o pérdidas de datos genera retrabajo y disminuye la productividad.

7.1.4. Requerimientos identificados para la nueva aplicación

En base a la revisión de características anterior, se definieron las siguientes necesidades funcionales y técnicas que la nueva solución debe incluir:

Cuadro 4. Rediseño y requerimientos clave del nuevo sistema.

Requerimiento	Descripción
Renderizado dinámico de formularios	Aunque la herramienta actual cuenta con una estructura configurable desde una plataforma web, esta capacidad está encapsulada dentro de una solución de terceros sin acceso al código fuente ni posibilidad de modificación directa. La propuesta contempla el desarrollo de un motor de interpretación dinámica dentro de la aplicación móvil, que permita desplegar formularios diseñados desde una plataforma web interna, extendiendo el control del sistema, disminuyendo la dependencia tecnológica y facilitando la evolución funcional futura.
Validaciones locales en tiempo real	Evitar errores de captura mediante esquemas de validación en tiempo real, incluso sin conexión a internet.
Sincronización bidireccional y accesible	Asegurar la conservación y recuperación de datos incluso en cortes de energía, reinicios o errores de usuario.
Interfaz responsiva y accesible	Adaptarse a pantallas de distintos tamaños, ofrecer botones grandes, buen contraste y soporte táctil eficiente.
Motor de exportación flexible	Brindar al usuario final la posibilidad de exportar los datos en formatos abiertos como CSV, XLSX o JSON según sus necesidades.
<i>Feedback</i> visual inmediato	Confirmar acciones como guardado, sincronización o errores mediante retroalimentación visual clara para fortalecer la confianza del usuario.
Arquitectura modular escalable	Organizar la aplicación en componentes reutilizables (<i>atomic design</i>) que permitan la evolución, mantenimiento y escalabilidad del sistema.
Sistema de inicio de sesión robusto y personalizable	Superar el inicio de sesión básico existente mediante una solución que permita gestionar usuarios, roles, permisos y visibilidad de funcionalidades desde una plataforma web. Esto permitirá adaptar la experiencia de uso, asignar formularios de manera controlada, proteger datos sensibles y facilitar la auditoría de operaciones.

Nota. Elaboración propia.

7.1.5. Aplicación de encuesta diagnóstica

Como parte de la fase de empatía y diagnóstico del proceso metodológico, se diseñó y aplicó una encuesta estructurada dirigida a los colaboradores del ingenio Santa Ana que actualmente utilizan herramientas digitales para la captura de datos en campo. El propósito de este instrumento fue obtener información directa sobre las principales dificultades de uso, las condiciones operativas del entorno agrícola y las oportunidades de mejora en los procesos de recolección de información móvil.

7.1.5.1. Objetivo general

Identificar las necesidades, percepciones y problemáticas de los usuarios que emplean la herramienta Digiforms, con el fin de orientar el rediseño de la interfaz y las funcionalidades del nuevo módulo móvil.

7.1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar el grado de satisfacción de los usuarios con la herramienta actual.

- Detectar las limitaciones técnicas o de usabilidad más frecuentes durante el llenado de formularios en campo.
- Evaluar la adaptación de la herramienta a las condiciones reales de trabajo agrícola (conectividad, luz solar, manipulación de dispositivos).
- Recopilar sugerencias y expectativas sobre la nueva aplicación móvil.

7.1.5.3. Diseño del instrumento

La encuesta fue elaborada en la plataforma Google Forms y compuesta por preguntas cerradas de tipo múltiple y de escala Likert, junto con preguntas abiertas para recoger comentarios cualitativos. El cuestionario se dividió en tres secciones:

- **Usabilidad y accesibilidad:** experiencia de uso, claridad de la interfaz, facilidad de navegación y legibilidad en campo.
- **Condiciones de operación:** conectividad, desempeño en distintos dispositivos y frecuencia de uso en zonas rurales.
- **Satisfacción y mejoras esperadas:** percepción general sobre la herramienta actual y expectativas hacia la nueva aplicación.

7.1.5.4. Población y muestra

El instrumento se aplicó a colaboradores de distintas áreas operativas del ingenio involucrados en la recolección de datos de campo, abarcando supervisores, técnicos y personal de apoyo. La participación fue voluntaria, anónima y realizada en formato digital mediante un enlace compartido. Se obtuvo un total de 32 respuestas válidas.

7.1.5.5. Justificación

La encuesta permitió identificar patrones de uso, dificultades recurrentes y oportunidades de mejora, constituyendo una base empírica para la definición de requerimientos funcionales y visuales del nuevo módulo móvil. Sus resultados sirvieron además como punto de partida para la elaboración de las *user personas*, los *wireframes* y el diseño iterativo de la interfaz bajo el enfoque de *design thinking*.

7.2. Fase II: definición de perfiles y diseño conceptual

7.2.1. Construcción de *user personas*

Con base en las entrevistas, la observación directa y, fundamentalmente, el análisis cuantitativo de la encuesta diagnóstica aplicada mediante Google Forms a 32 colaboradores, se elaboraron perfiles representativos que sintetizan los distintos tipos de usuarios, tal como se muestra en la Figura 2. Cada persona permitió orientar decisiones de diseño hacia la realidad de operación en campo y las limitaciones técnicas observadas (nivel de alfabetización digital, tipo de dispositivo, condiciones ambientales, entre otros).

Los perfiles incluyeron información sobre motivaciones, frustraciones y contexto de uso. Entre los hallazgos clave derivados de la encuesta, se identificó la necesidad de mantener flujos lineales, iconografía clara, botones de gran tamaño y mensajes de retroalimentación inmediatos. Estos criterios fueron incorporados en los prototipos y pruebas de usabilidad.

7.2.2. Wireframes y prototipado inicial

La transición hacia la etapa de *wireframes* se fundamentó directamente en las restricciones y necesidades identificadas en los *user personas*. Dado que el perfil operativo (validado en la encuesta) se caracteriza por una baja familiaridad tecnológica y el uso frecuente de guantes, se tomaron decisiones de diseño específicas para estos primeros bocetos: se priorizaron zonas táctiles de gran tamaño para evitar errores de pulsación y se definió una navegación estrictamente lineal para reducir la carga cognitiva.

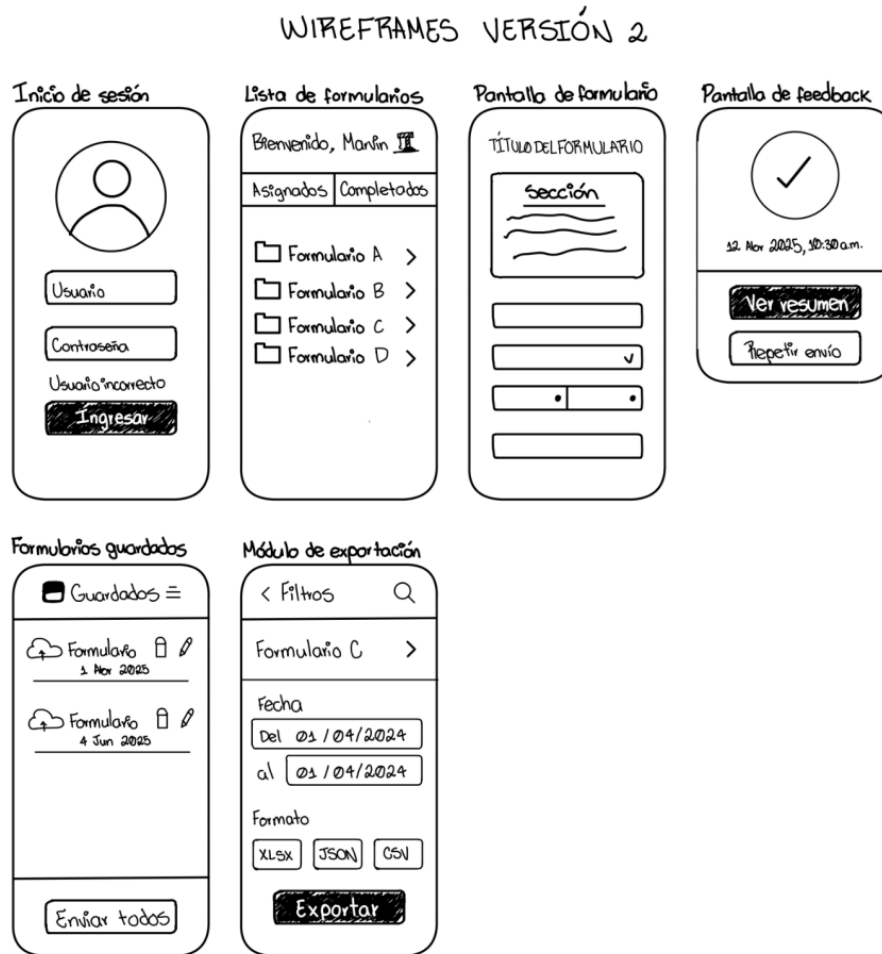
Los *wireframes* resultantes constituyeron la primera representación visual del sistema, permitiendo validar esta estructura, jerarquía y flujo de interacción sin distracciones estéticas (The Interaction Design Foundation (IxDF), 2024). El proceso de diseño se desarrolló en dos iteraciones: la primera se enfocó en definir la estructura general de navegación y los componentes principales de las pantallas, mientras que la segunda —considerada la versión final— incorporó los ajustes derivados de la retroalimentación obtenida durante las pruebas internas con usuarios del ingenio. Esta iteración final consolidó la jerarquía de información, simplificó los flujos redundantes y mejoró la visibilidad de los elementos interactivos bajo condiciones reales de uso.

Figura 6. Primera iteración de *wireframes*: definición inicial de estructura y flujo general de pantallas.



Nota. Elaboración propia.

Figura 7. Segunda y última iteración de *wireframes*: versión final consolidada tras la validación interna.



Nota. Elaboración propia.

7.2.3. Sistema visual: paleta de colores accesible

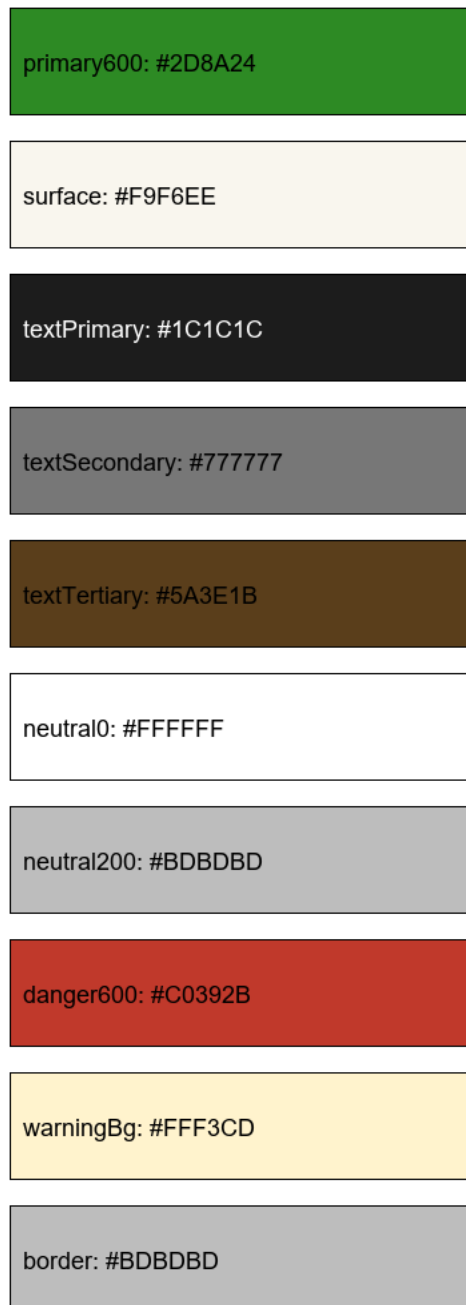
El diseño visual de la aplicación se fundamentó en una paleta cromática orientada a maximizar el contraste y la legibilidad en condiciones de alta luminosidad, propias del entorno agrícola del ingenio Santa Ana. La selección de colores se basó en principios de accesibilidad establecidos por WCAG 2.1 (World Wide Web Consortium (W3C), 2024b), priorizando valores con índices de contraste adecuados para lectura en exteriores, así como la rápida identificación de estados del sistema mediante códigos semánticos (*feedback*) como éxito, advertencia o error.

Además de los criterios de accesibilidad, la selección cromática consideró la identidad visual del ingenio Santa Ana y su entorno productivo. El uso del verde como color primario comunica visualmente la naturaleza agroindustrial del cultivo de caña y refuerza una percepción de vitalidad y sostenibilidad. Los tonos neutros y terrosos empleados como colores secundarios otorgan armonía con el paisaje rural y ayudan a evitar fatiga visual durante

jornadas prolongadas. Finalmente, los acentos en rojo y amarillo se utilizaron para destacar eventos críticos o información relevante, facilitando una respuesta rápida del usuario en situaciones operativas.

La Figura 8 presenta los colores principales y secundarios implementados en la interfaz, los cuales guían la comunicación visual del sistema en términos de navegación, interacción y señalización de estados.

Figura 8. Paleta cromática empleada en la interfaz del módulo móvil.



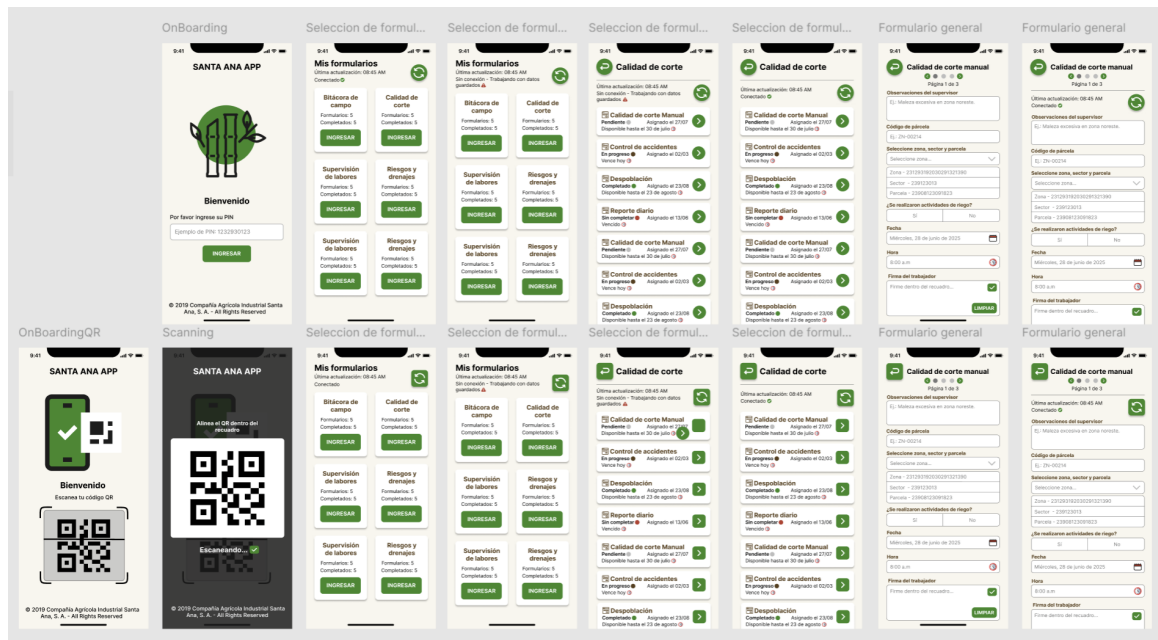
Nota. Elaboración propia.

7.2.4. Prototipo de alta fidelidad en Figma

A partir de la segunda iteración de *wireframes*, se desarrolló el prototipo de alta fidelidad en Figma, aplicando la paleta cromática definida (ver Figura 8) y las tipografías seleccionadas conforme a las pautas de accesibilidad WCAG 2.1 (World Wide Web Consortium (W3C), 2024b). Este prototipo permitió validar el flujo completo de interacción, incluyendo las etapas de inicio de sesión, selección de formulario, ingreso de datos, sincronización y confirmación de envío.

El diseño final se centró en lograr una interfaz clara y funcional, optimizada para condiciones de campo con alta luminosidad y conectividad limitada. Se emplearon contrastes elevados, botones amplios y componentes modulares basados en los principios de *Atomic Design* (Frost, 2016), garantizando escalabilidad visual y coherencia entre pantallas.

Figura 9. Prototipo de alta fidelidad desarrollado en Figma: flujo desde inicio de sesión hasta el llenado de formularios.

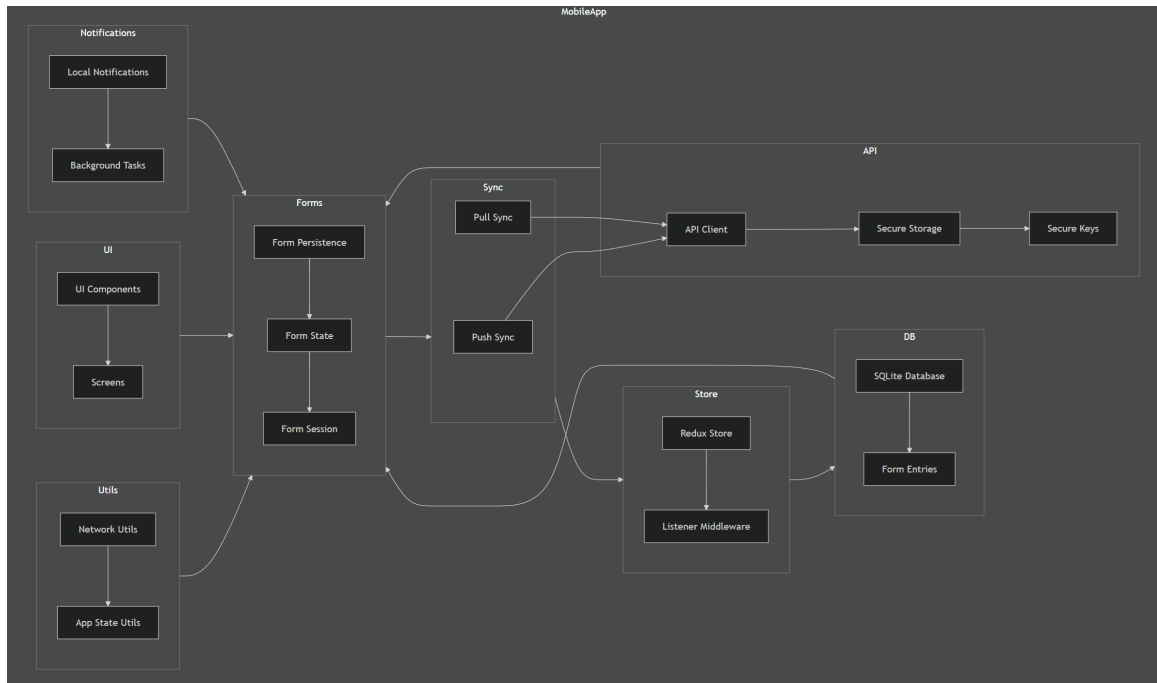


Nota. Elaboración propia.

7.3. Fase III: arquitectura del *frontend*

La implementación del módulo se desarrolló en React Native bajo el entorno Expo, aprovechando su compatibilidad multiplataforma y facilidad de despliegue. Se aplicó la arquitectura *atomic design* (Frost, 2016) para estructurar la interfaz en componentes reutilizables y escalables. La aplicación integró librerías como Formik y Yup para la validación de formularios, junto con almacenamiento local mediante AsyncStorage y sincronización remota mediante TanStack Query. El manejo de estado global se realizó a través de Redux Toolkit, y la persistencia de datos *offline* se apoyó en SQLite como base de datos embebida.

Figura 10. Arquitectura general del *frontend* desarrollado en React Native.



Nota. Elaboración propia.

El esquema de la Figura 10 representa la organización modular de la aplicación. Cada bloque agrupa componentes según su responsabilidad dentro del sistema. La capa UI está compuesta por los elementos visuales construidos bajo principios de *atomic design*, organizados en pantallas que interactúan con el estado de los formularios. El módulo de *Forms* gestiona la persistencia, el estado y las sesiones de formulario, comunicándose con la capa de sincronización (*Sync*) para enviar o recibir datos según la disponibilidad de red. La *Store*, implementada con Redux Toolkit y *listener middleware*, mantiene la coherencia del estado global y coordina los cambios entre la base de datos local (DB) y la API remota. Finalmente, la capa de *Notifications* y *Utils* proporciona servicios auxiliares para tareas en segundo plano, manejo de red y notificaciones locales, asegurando la continuidad operativa incluso en entornos *offline*.

7.3.1. Validación de interfaz mediante *eye-tracking*

Como parte del proceso de validación de la arquitectura implementada, se realizaron pruebas controladas con usuarios empleando tecnología de seguimiento ocular (*eye-tracking*) mediante el dispositivo Tobii. El objetivo fue analizar los patrones de atención visual, la secuencia de exploración de los elementos interactivos y la comprensión general de la interfaz bajo condiciones de uso reales.

Las pruebas se llevaron a cabo con una muestra de cuatro usuarios representativos de estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala sin ninguna interacción previa con una aplicación similar. Cada participante interactuó con la aplicación instalada en un emulador de Android Studio, realizando tareas específicas como iniciar sesión, seleccionar un formulario, completar un registro y seguir un flujo.

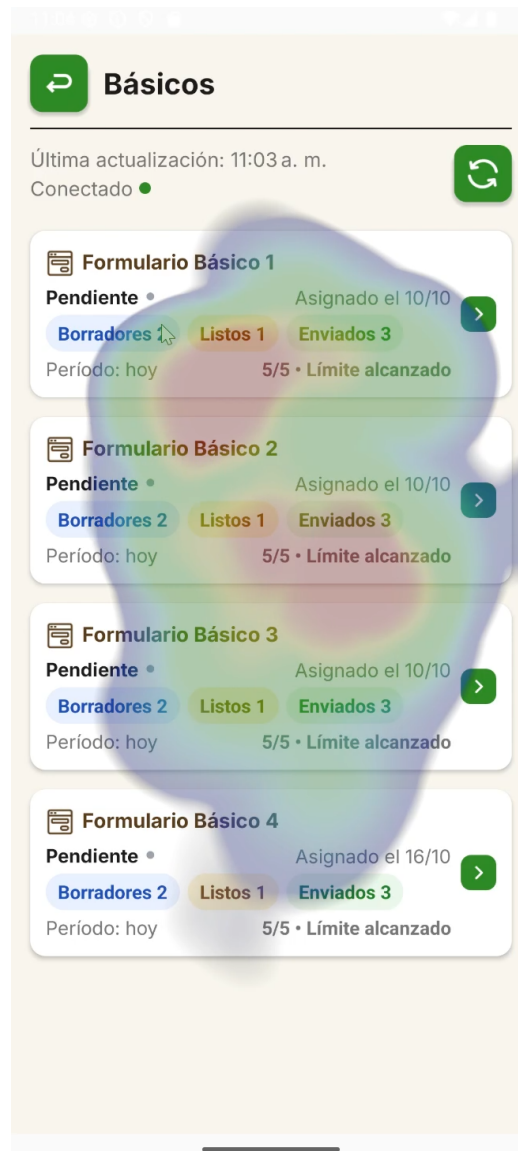
Durante las sesiones se registraron mapas de calor y trayectorias oculares que permitieron

identificar zonas de mayor atención y elementos que generaban confusión o requerían esfuerzo cognitivo adicional. Los resultados evidenciaron que los usuarios concentraban su atención en los botones principales y en la parte superior de las pantallas, mientras que los íconos secundarios requerían mayor refuerzo visual.

A partir de estos hallazgos se realizaron ajustes en la cantidad de información proporcionada, la disposición de los componentes y el tamaño de las zonas táctiles.

Estas mejoras fueron incorporadas en la versión final de la aplicación, fortaleciendo la usabilidad y accesibilidad del sistema en contextos rurales.

Figura 11. Ejemplo de análisis de atención visual mediante *eye-tracking* (Tobii) durante la interacción con la aplicación móvil.



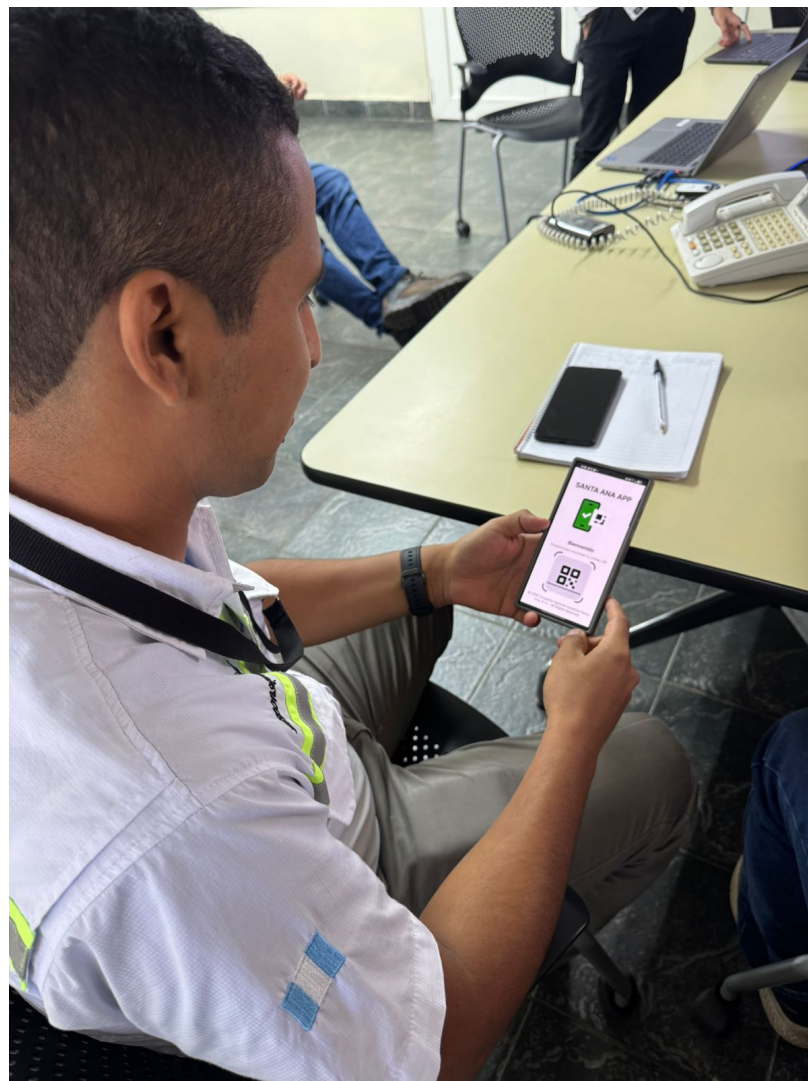
Nota. Elaboración propia.

7.4. Fase IV: validación con usuarios finales

Una vez implementada la versión funcional, se realizaron pruebas de usabilidad en campo con colaboradores del ingenio Santa Ana. Estas pruebas tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia del flujo de captura, la comprensión de los íconos y etiquetas, y la estabilidad del funcionamiento *offline* en condiciones reales de uso. Se recopilieron observaciones cualitativas, las cuales sirvieron para documentar mejoras y confirmar el cumplimiento de los objetivos de diseño.

Las pruebas en campo complementaron los resultados obtenidos en el laboratorio con seguimiento ocular, confirmando la mejora en la legibilidad, el flujo de navegación y la respuesta táctil bajo condiciones de iluminación natural.

Figura 12. Validación de la aplicación móvil en campo con colaboradores del ingenio Santa Ana. Se evaluaron condiciones reales de uso, iluminación y conectividad.



Nota. Elaboración propia.

7.5. Fase V: documentación, análisis y mejora continua

Por último, se consolidaron los resultados obtenidos en las distintas etapas del proceso, incluyendo los ajustes derivados de las pruebas experimentales y las observaciones en campo. Se documentaron las iteraciones de diseño, la evolución del prototipo, las decisiones de arquitectura y los criterios de accesibilidad aplicados. Además, se elaboraron recomendaciones para futuras versiones, orientadas a la integración con módulos de análisis de datos, sincronización avanzada y gestión de formularios desde la plataforma web.

En síntesis, la metodología empleada permitió combinar fundamentos teóricos de diseño centrado en el usuario con prácticas ágiles de desarrollo multiplataforma, logrando una solución técnica validada empíricamente, con aplicabilidad real en entornos rurales.

El presente capítulo presenta los principales resultados derivados del proceso de diseño, desarrollo e implementación del módulo de *frontend* para la recolección de datos en campo. Los hallazgos se organizan en función del proceso metodológico, lo que evidencia la evolución del sistema desde la fase diagnóstica hasta su validación final con usuarios reales.

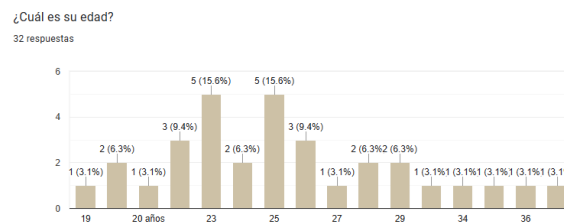
8.1. Encuesta diagnóstica

Antes del diseño del prototipo, se aplicó una encuesta a 32 colaboradores del Ingenio Santa Ana con el propósito de conocer sus experiencias con herramientas digitales para la recolección de datos, así como identificar necesidades de mejora en la interfaz y el flujo operativo. El instrumento se implementó mediante Google Forms y fue distribuido a personal de campo y supervisores con distintos niveles de formación académica y experiencia tecnológica.

8.1.1. Perfil de los participantes

La muestra incluyó usuarios entre 19 y 37 años, predominando el rango de 23 a 25 años, correspondiente a trabajadores jóvenes en labores operativas y de supervisión.

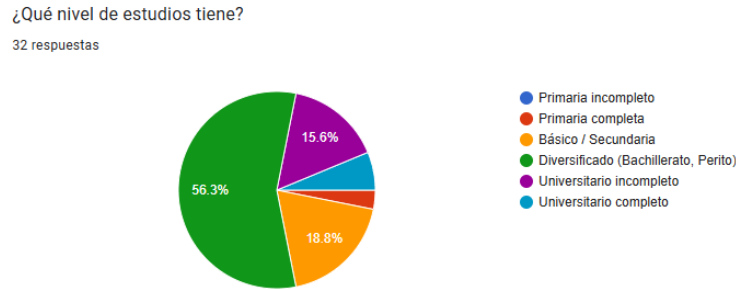
Figura 13. Distribución de edades de los participantes de la encuesta.



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta.

En cuanto al nivel educativo, más de la mitad de los encuestados (56.3%) contaba con estudios de nivel básico o secundaria, mientras que el 18.8% había completado diversificado y un 15.6% tenía estudios universitarios incompletos (Figura 14). Esto evidencia la necesidad de interfaces simples, con bajo nivel de complejidad cognitiva y alta claridad visual.

Figura 14. Nivel de escolaridad alcanzado por los participantes de la encuesta.

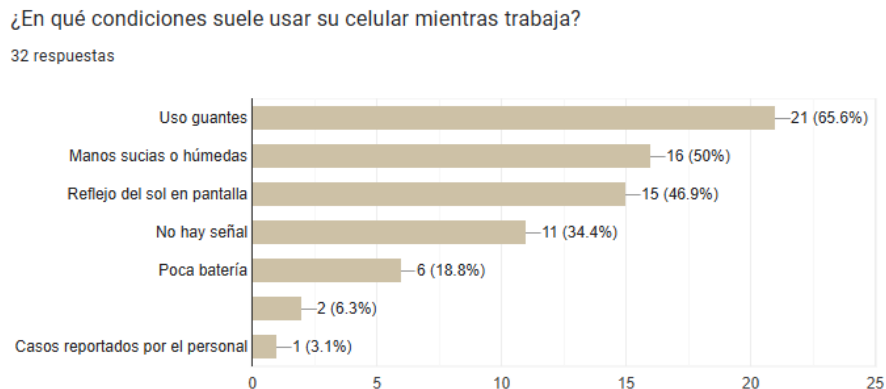


Nota. Elaboración propia.

8.1.2. Condiciones de uso en campo

Las respuestas evidenciaron las condiciones adversas bajo las cuales los usuarios emplean dispositivos móviles durante la jornada laboral. El 65.6% indicó utilizar el celular con guantes, el 50% en condiciones de humedad o suciedad, y el 46.9% reportó problemas por reflejo solar en pantalla (Figura 15). Estos datos refuerzan la importancia de priorizar botones grandes, alto contraste y compatibilidad con operación táctil reducida.

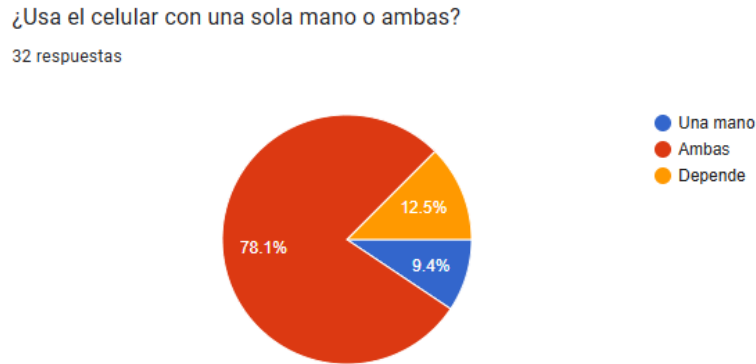
Figura 15. Condiciones ambientales y operativas durante el uso de dispositivos móviles en campo.



Nota. Elaboración propia.

Asimismo, el 78.1% de los encuestados utiliza el celular con ambas manos (Figura 16), lo que sugiere un patrón de interacción orientado a pantallas verticales y disposición central de elementos interactivos.

Figura 16. Preferencias y modos de manipulación del dispositivo móvil durante la jornada laboral.

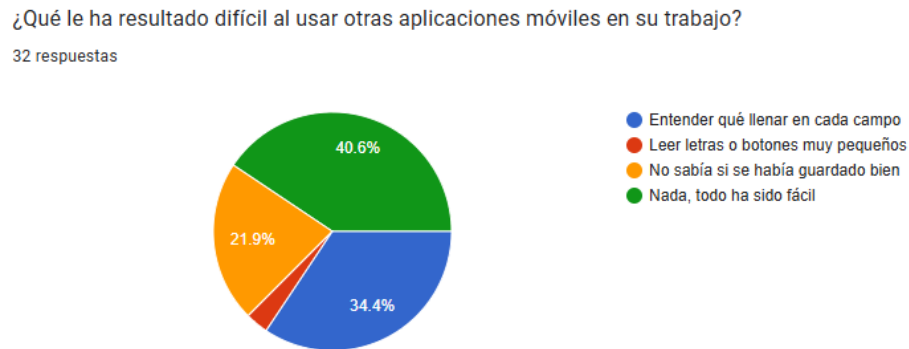


Nota. Elaboración propia.

8.1.3. Percepción de usabilidad y dificultades

En relación con el uso de aplicaciones móviles previas, el 34.4% manifestó dificultades para entender qué llenar en cada campo, y el 21.9% indicó problemas para confirmar si los datos se habían guardado correctamente (Figura 17). Estos hallazgos evidencian la falta de retroalimentación visual y de guía en las herramientas actualmente utilizadas.

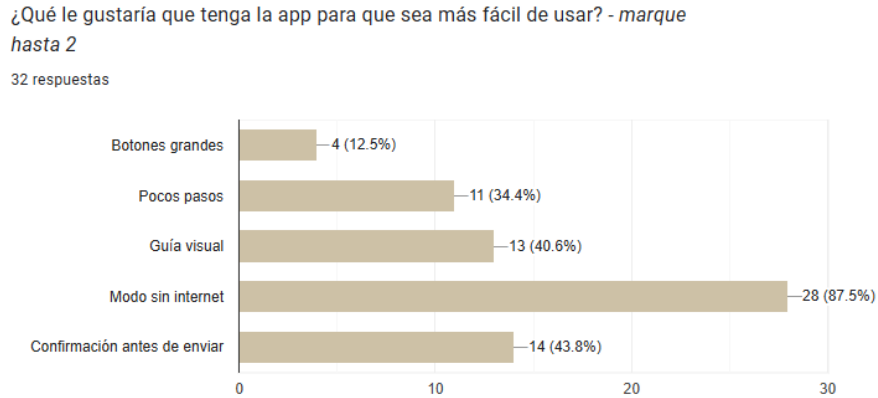
Figura 17. Principales dificultades identificadas en el uso de aplicaciones móviles durante la jornada laboral.



Nota. Elaboración propia.

En cuanto a preferencias de diseño, el 87.5% consideró indispensable contar con un modo sin conexión, mientras que el 43.8% valoró la confirmación antes del envío de datos y el 40.6% solicitó guías visuales para facilitar el llenado (Figura 18). Estas respuestas sirvieron como insumo directo para definir las características funcionales de la aplicación.

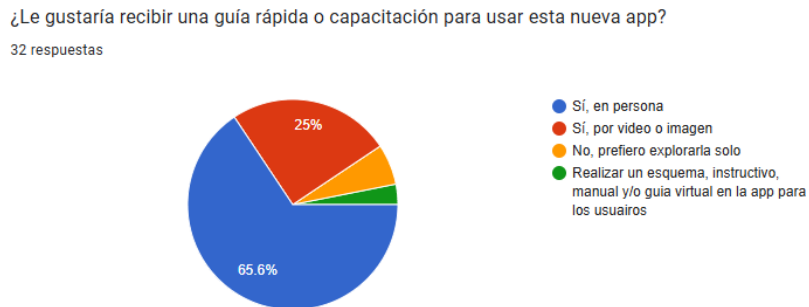
Figura 18. Características y funcionalidades prioritarias identificadas para la optimización de la experiencia de usuario.



Nota. Elaboración propia.

Por último, el 65.6% de los participantes expresó preferir una capacitación presencial para el uso de la nueva aplicación, frente a un 25% que preferiría un tutorial visual o en video (Figura 19). Esta preferencia orientó la decisión de incluir una guía básica de uso y un sistema de retroalimentación visual dentro de la aplicación móvil.

Figura 19. Preferencias sobre la modalidad de capacitación para el uso del nuevo módulo móvil.

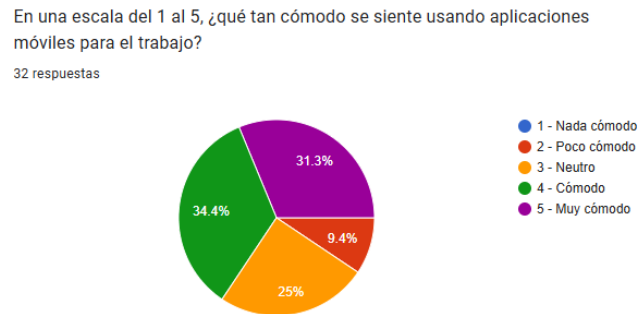


Nota. Elaboración propia.

8.1.4. Percepción general de comodidad tecnológica

En una escala del 1 al 5, donde 5 representa el máximo nivel de comodidad, el 65.7% de los usuarios se ubicó entre los valores 4 y 5 (Figura 20). Esto indica una disposición positiva hacia la adopción tecnológica, aunque condicionada a la facilidad de uso y claridad de la interfaz.

Figura 20. Nivel de comodidad percibido por los usuarios durante el uso de aplicaciones móviles en la jornada laboral.



Nota. Elaboración propia.

8.1.5. Síntesis del diagnóstico

Los resultados de la encuesta confirman la necesidad de una solución adaptada a las condiciones del entorno agrícola: alto contraste, botones grandes, funcionamiento *offline* y retroalimentación visual clara. Estos hallazgos fundamentaron la fase de diseño centrado en el usuario, la definición de *personas* representativas y la priorización de las funcionalidades básicas de la aplicación.

La información recopilada sirvió como punto de partida para el diseño de las *user personas* y la priorización de requisitos funcionales. Los hallazgos más relevantes se vincularon directamente con los retos de usabilidad detectados posteriormente en las pruebas de laboratorio, confirmando la pertinencia de un enfoque centrado en el usuario.

8.2. Evolución del diseño de interfaz

El proceso de diseño siguió un enfoque iterativo basado en los principios del *design thinking*, donde cada iteración permitió refinar la estructura, la jerarquía de información y la experiencia de usuario.

8.2.1. Primera iteración: estructura base de interacción

La primera iteración consistió en el desarrollo de *wireframes* de baja fidelidad, orientados a definir la estructura funcional de la aplicación y el flujo general de navegación (inicio de sesión, selección de formulario, ingreso de datos y sincronización). Estos *wireframes* fueron validados internamente con el equipo técnico del Ingenio Santa Ana, permitiendo detectar oportunidades de mejora en la distribución de elementos, visibilidad de botones principales y secuencia de tareas.

Figura 21. Primera iteración del diseño de interfaz: estructura base del flujo principal.

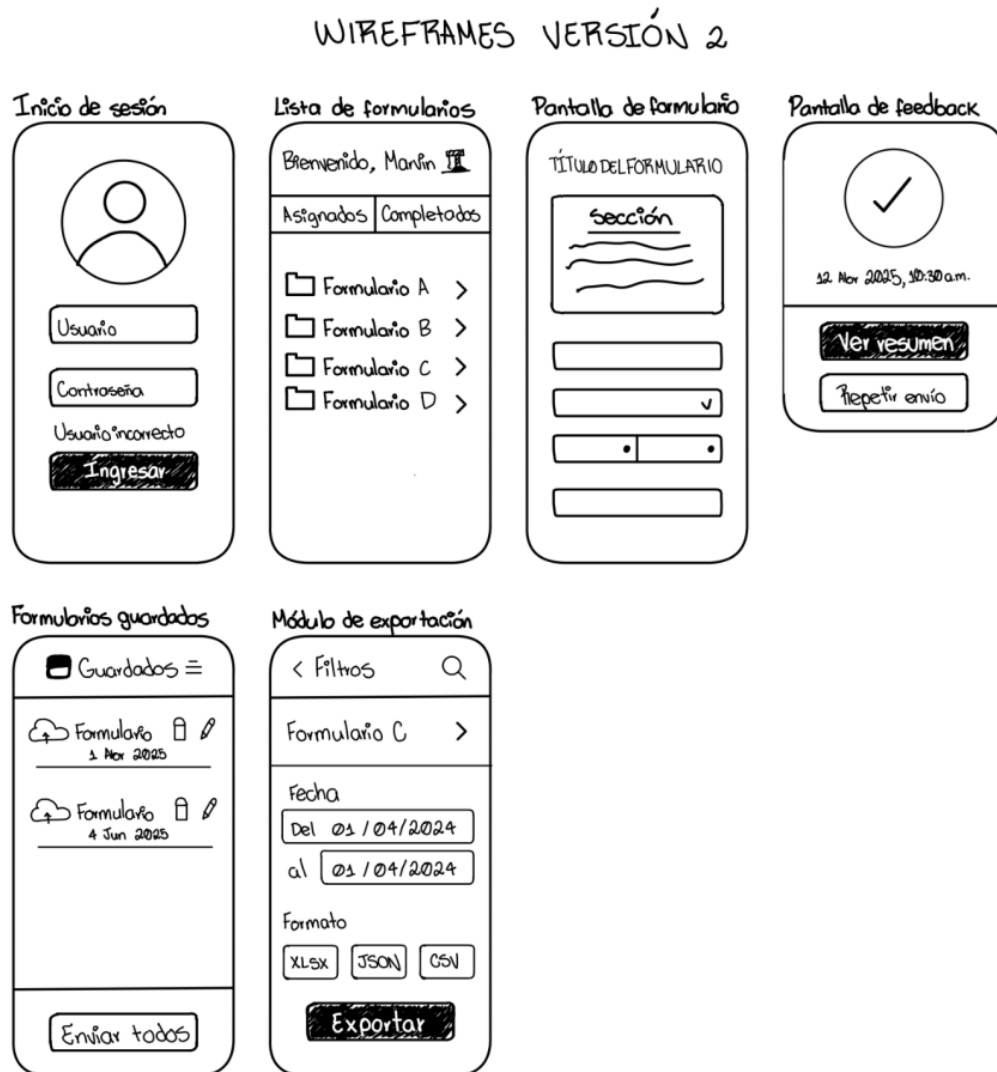


Nota. Elaboración propia.

8.2.2. Segunda iteración: refinamiento visual y prototipado de alta fidelidad

En la segunda iteración se desarrollaron prototipos en Figma aplicando la paleta cromática, tipografías y principios de accesibilidad definidos en la fase de diseño (véase Figura 8). Esta versión permitió validar jerarquías visuales, legibilidad y contraste en condiciones simuladas de uso rural. Las observaciones obtenidas en sesiones de revisión guiaron ajustes en los tamaños de los componentes, la visibilidad de los estados y la coherencia entre pantallas.

Figura 22. Segunda iteración del diseño de interfaz: prototipo de alta fidelidad con ajustes visuales y estructurales.



Nota. Elaboración propia.

8.2.3. Versión final: implementación funcional en React Native

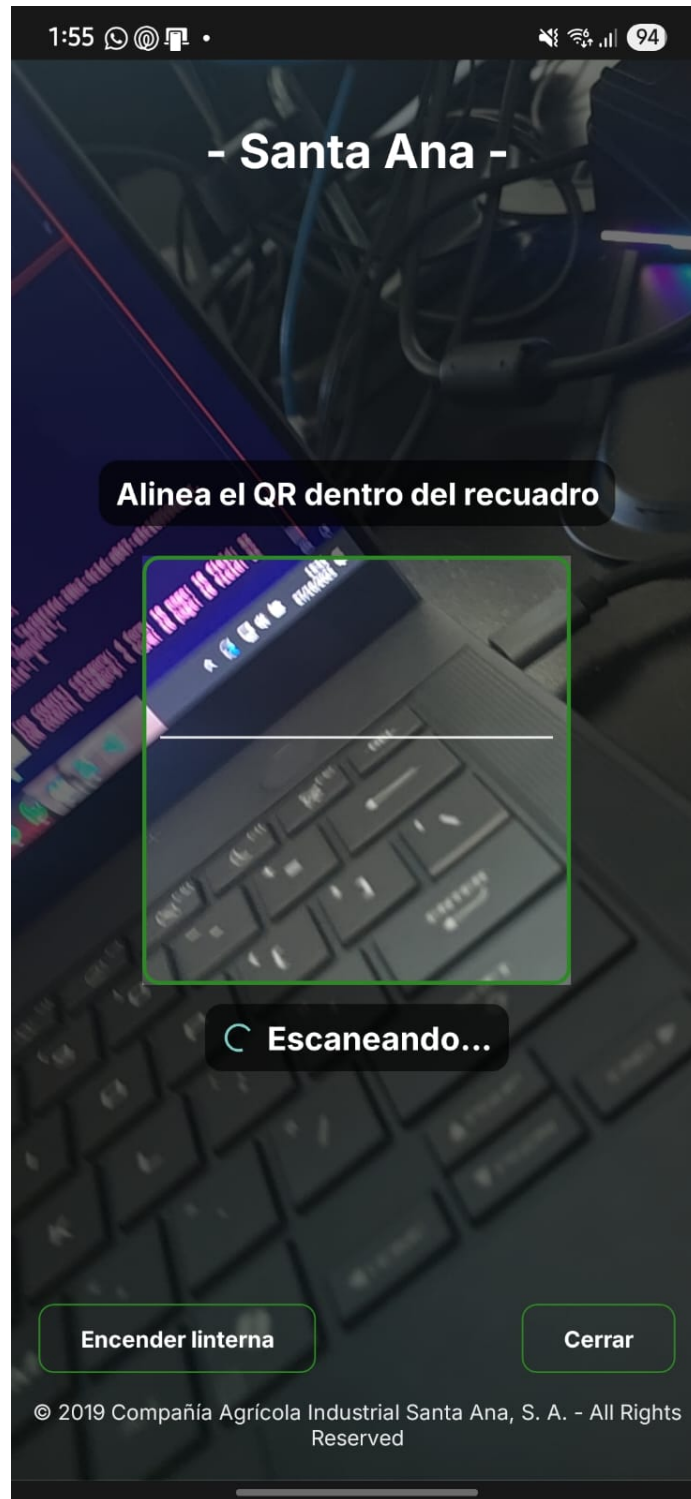
La versión final integró los elementos validados en Figma dentro de la aplicación desarrollada con React Native y Expo. Se consolidaron los flujos principales: autenticación, selección de formulario, captura de datos, almacenamiento local y sincronización con el servidor. Las pantallas finales reflejan la incorporación de mejoras derivadas de las pruebas con usuarios, para optimizar la legibilidad, los tiempos de respuesta y la retroalimentación visual. Cada interfaz fue diseñada bajo lineamientos de accesibilidad (WCAG 2.1), con el fin de garantizar el contraste adecuado, tamaños táctiles amplios y consistencia visual.

Figura 23. Pantalla de inicio de sesión con opciones de acceso mediante código QR o credenciales.



Nota. Elaboración propia.

Figura 24. Interfaz de escaneo de código QR mediante cámara integrada, con soporte de linterna y cierre rápido.



Nota. Elaboración propia.

Figura 25. Pantalla principal de formularios disponibles, organizada por categorías de tareas y estados de conexión.



Nota. Elaboración propia.

Figura 26. Vista detallada de formularios dentro de una categoría, con indicadores de progreso y sincronización.



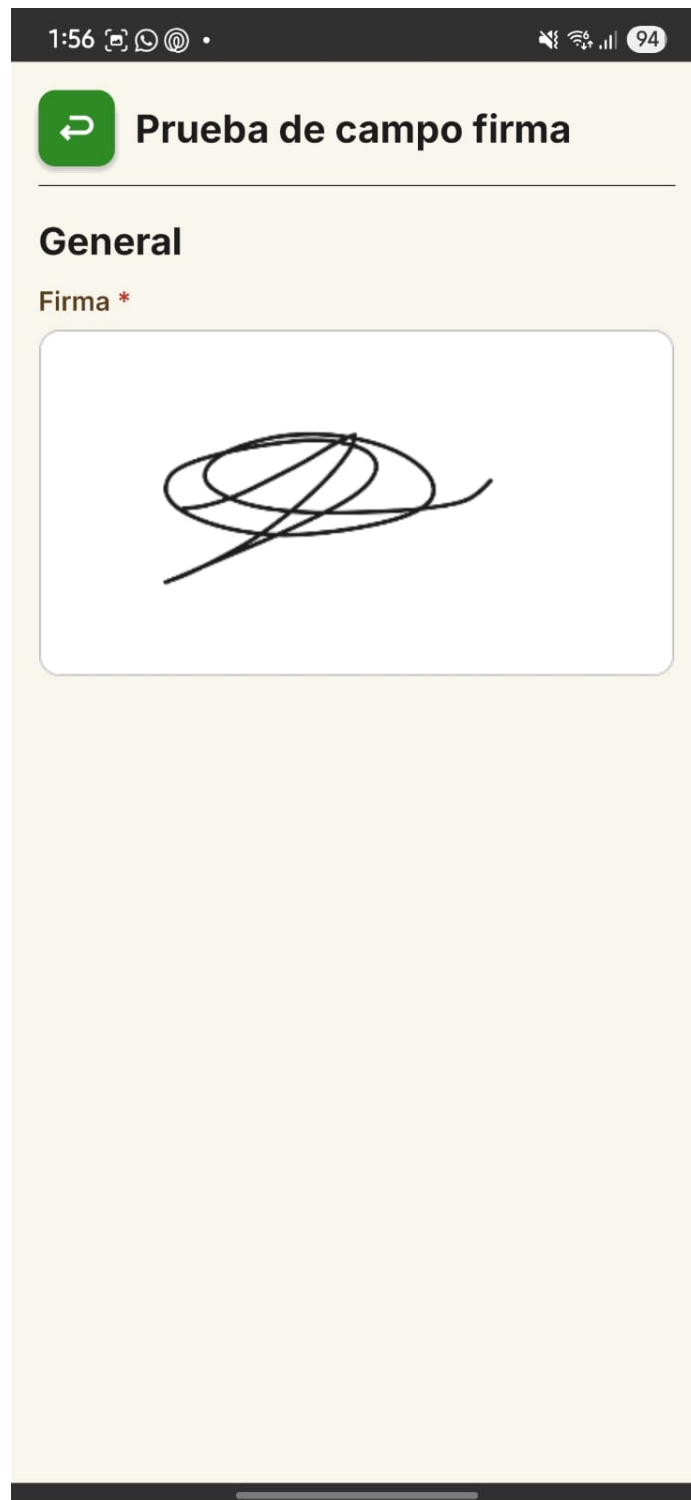
Nota. Elaboración propia.

Figura 27. Gestión de registros dentro de una sesión de formulario, se muestran los elementos enviados y pendientes.



Nota. Elaboración propia.

Figura 28. Campo de firma digital implementado para la validación presencial de datos en campo.



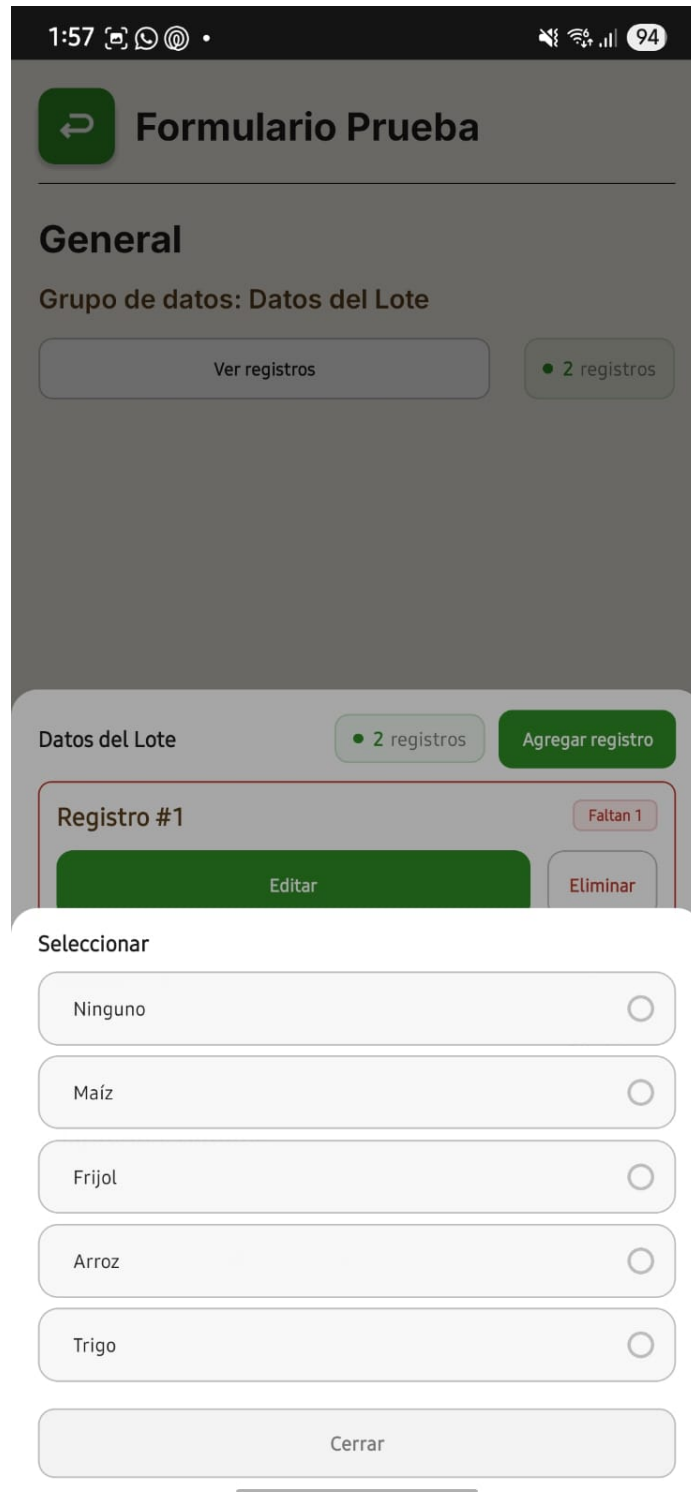
Nota. Elaboración propia.

Figura 29. Ejemplo de formulario con grupos de datos repetibles, que permite añadir y eliminar registros de forma dinámica.



Nota. Elaboración propia.

Figura 30. Selección de valores a partir de listas dinámicas, con soporte para opciones múltiples y búsqueda rápida.



Nota. Elaboración propia.

Estas capturas representan el producto final del proceso de desarrollo, evidenciando la integración entre diseño y funcionalidad. El sistema mantiene coherencia visual, legibilidad y capacidad de operación en contextos rurales con conectividad limitada, cumpliendo así con los objetivos de accesibilidad, eficiencia y usabilidad definidos en el proyecto.

8.3. Validación de accesibilidad y contraste

Para garantizar la legibilidad y accesibilidad en campo, se evaluaron las combinaciones cromáticas entre los colores de texto y la superficie principal de la interfaz (#F9F6EE). Las pruebas se realizaron mediante la herramienta *Contrast Checker* de WebAIM, verificando el cumplimiento de las pautas WCAG 2.1 (World Wide Web Consortium (W3C), 2024b). Los resultados mostraron que todas las combinaciones superaron los niveles AA y AAA, garantizando visibilidad bajo luz solar directa y en dispositivos de gama media.

Figura 31. Validación de contraste entre colores de texto y fondo según WCAG 2.1.



Nota. Elaboración propia con WebAIM Contrast Checker.

Los valores de contraste obtenidos oscilaron entre 12.8:1 y 17.04:1, cumpliendo los estándares internacionales de accesibilidad visual y garantizando la correcta legibilidad en los escenarios de iluminación natural donde opera la aplicación.

8.4. Validación con usuarios finales

Tras la implementación funcional del módulo, se realizaron dos etapas de validación complementarias: una en laboratorio, centrada en la observación de patrones visuales y de interacción, y otra en campo, enfocada en la usabilidad práctica bajo las condiciones reales del Ingenio Santa Ana.

8.4.1. Pruebas de laboratorio con seguimiento ocular

Las pruebas controladas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Innovación de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), con la participación voluntaria de cinco estudiantes. El objetivo fue analizar la atención visual y la comprensión del flujo de navegación utilizando tecnología Tobii de seguimiento ocular (*eye-tracking*).

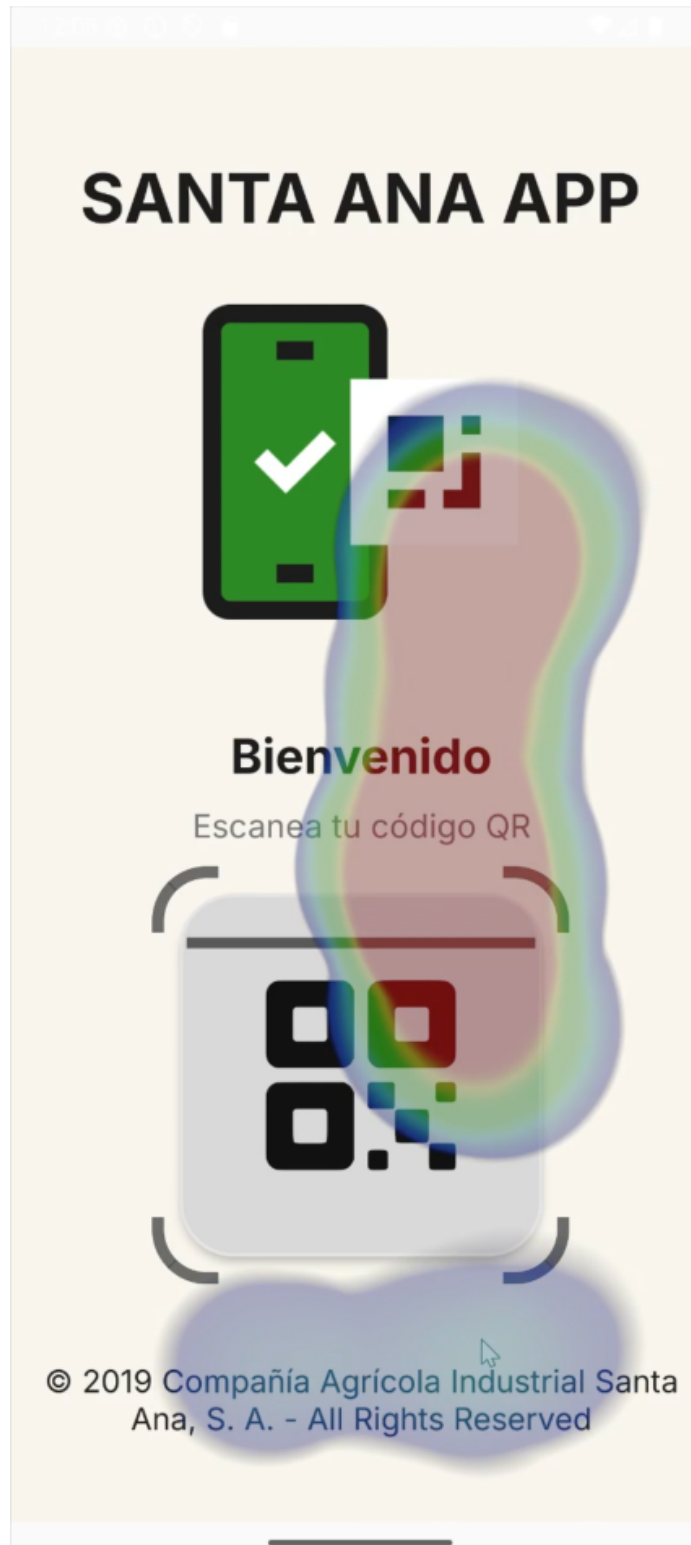
Figura 32. Pruebas de seguimiento ocular con cinco voluntarios en el laboratorio de la UVG.



Nota. Elaboración propia.

Los mapas de calor generados permitieron identificar las áreas de mayor concentración visual dentro de cada pantalla, así como los elementos que provocaban distracciones o retrasos en la navegación. En general, las zonas de interacción principales (botones de acción, íconos y campos de texto) concentraron la mayor atención, lo cual confirmó la correcta jerarquía visual y el contraste de color.

Figura 33. Mapa de calor del inicio de sesión por QR. Se observa foco inmediato en el ícono central y el botón de escaneo, lo que valida la claridad del punto de entrada.



Nota. Elaboración propia.

Figura 34. Mapa de calor de la pantalla principal. Los usuarios dirigieron la atención hacia los primeros bloques de formularios y el botón de sincronización.



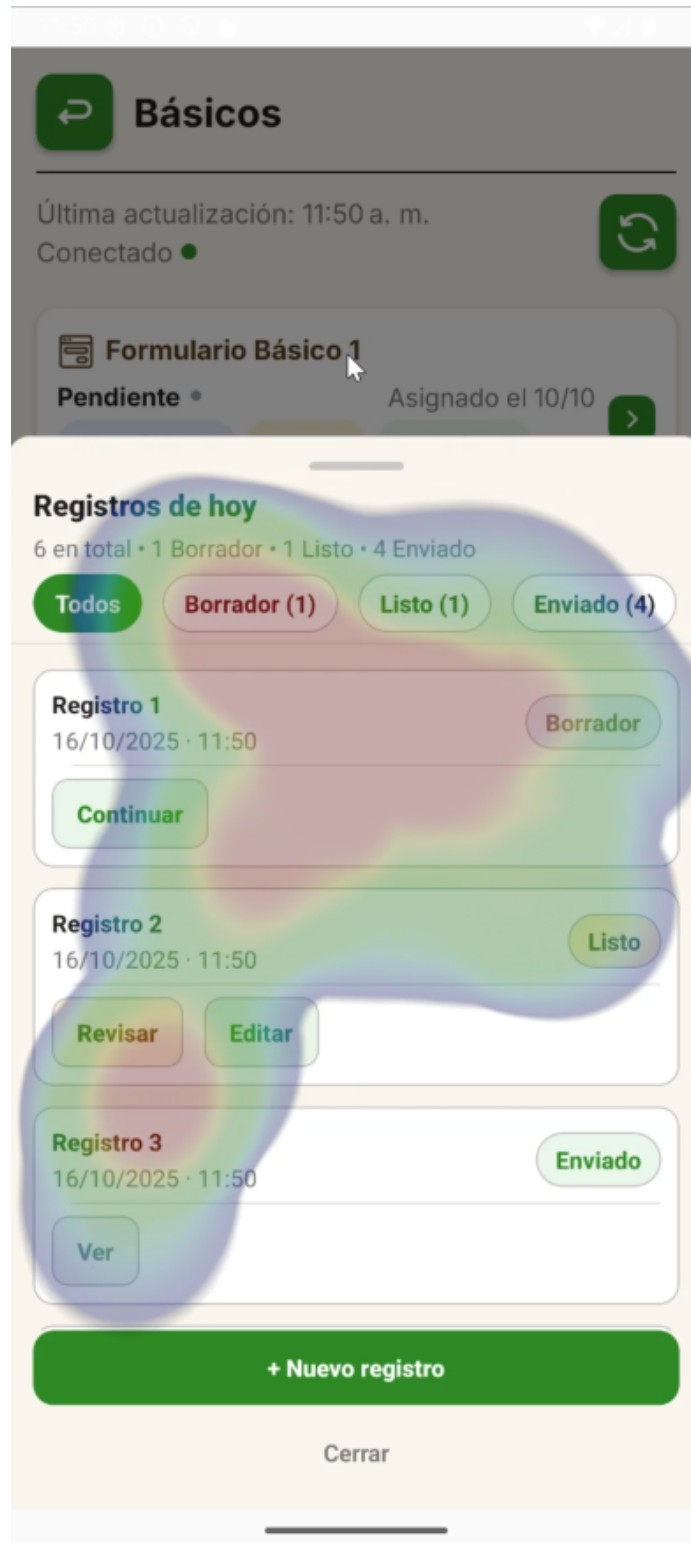
Nota. Elaboración propia.

Figura 35. Mapa de calor de la vista de categorías de formularios. Se aprecia atención prioritaria en los encabezados y los botones de estado (“Borrador”, “Listo” y “Enviado”).



Nota. Elaboración propia.

Figura 36. Mapa de calor de la pantalla de registros. Los usuarios concentraron la vista en los botones de acción, lo que confirma la comprensión de la jerarquía de opciones.



Nota. Elaboración propia.

Figura 37. Mapa de calor del formulario de ingreso de datos. Se observa atención lineal descendente, lo que refuerza el orden natural de lectura y valida el diseño vertical.



Nota. Elaboración propia.

Los resultados de los mapas de calor mostraron una concentración visual efectiva en los elementos principales de acción (botones de envío, navegación y sincronización), con mejoras notables respecto a los primeros prototipos en Figma. Los participantes destacaron la simplicidad de los íconos, el contraste entre secciones y la claridad del flujo general.

Entre los hallazgos más relevantes se identificaron los siguientes:

- Tendencia a buscar retroalimentación visual inmediata tras presionar botones, lo que motivó la adición de indicadores animados de carga y confirmación.
- Atención dispersa en formularios con más de tres campos consecutivos, lo que derivó en un espaciado táctil mayor y subtítulos intermedios.
- Reconocimiento más rápido de íconos verdes frente a otros colores secundarios, lo que confirmó la eficacia de la paleta elegida.
- El exceso de información en algunas pantallas redujo la concentración visual, lo que generó confusión en la interpretación de estados.
- Algunos botones secundarios (como “Guardar local”) desviaban la atención del flujo principal, por lo que se simplificó su visibilidad.
- El manejo de tres estados de formulario simultáneos (“Borrador”, “Listo” y “Enviado”) generaba carga cognitiva, lo que motivó una reestructuración visual más clara.

En conjunto, los resultados de laboratorio guiaron la refinación de la interfaz final, lo que reforzó la simplicidad perceptual, la legibilidad de los botones y la efectividad del contraste en entornos de alta luminosidad.

8.4.2. Pruebas de usabilidad en campo

Se efectuaron pruebas de campo con cinco colaboradores del Ingenio Santa Ana. Los participantes completaron formularios, generaron registros nuevos y realizaron sincronizaciones *offline*, mientras se registraban observaciones sobre comprensión, eficiencia y respuesta del sistema.

Los principales hallazgos de esta etapa fueron los siguientes:

- Confirmación de la estabilidad del almacenamiento local y la sincronización diferida, incluso tras cierres forzados de la aplicación.
- Aceptación positiva de la interfaz y de los botones de gran tamaño, que facilitaron la operación con manos parcialmente cubiertas o húmedas.
- Necesidad de mantener visible el estado de conexión (*online/offline*), lo cual motivó la inclusión de un indicador constante en la barra superior.
- Sugerencia de incorporar mensajes de confirmación antes del envío final, funcionalidad que fue implementada en la versión final.
- Reducción de los tres estados de un registro de formularios a dos.
- Necesidad de enviar varios registros de un mismo formulario al mismo tiempo.
- Posibilidad de eliminar un registro de un formulario por si ya no se requiere.

- Tiempo de sesión de un día, con eliminación periódica y cierre de sesión automático.
- Incorporación de dos tipos de inicio de sesión, con QR y credenciales.

Ambas etapas de validación confirmaron la adecuación del diseño a las condiciones de uso reales y su alineación con los objetivos de accesibilidad y eficiencia definidos en el proyecto. Los ajustes derivados —principalmente relacionados con contraste, espaciado táctil y retroalimentación visual— fortalecieron la experiencia del usuario, consolidando una herramienta confiable y adaptable al entorno agrícola.

8.5. Comparativo antes/después: optimización del proceso

8.5.1. Alcance y fuentes

El análisis comparativo se fundamenta en indicadores de proceso obtenidos a partir de la encuesta diagnóstica, los mapas de calor de atención visual y las observaciones registradas durante las pruebas de campo. El propósito de esta comparación es evidenciar la correspondencia entre los requerimientos definidos para el rediseño del sistema y los resultados observados en la aplicación desarrollada, particularmente en torno a la claridad del flujo, la validación local, la retroalimentación visual, la continuidad operativa y la autonomía técnica.

8.5.2. Indicadores comparativos del flujo

Cuadro 5. Comparativo cualitativo del proceso de captura: herramienta vigente vs. aplicación propuesta.

Indicador de proceso	Antes (herramienta vigente)	Después (aplicación propuesta)
Claridad del flujo de captura y envío	Navegación con validaciones poco visibles y pasos no guiados; se reportaban dudas sobre qué llenar y cuándo se completaba una acción.	Flujo estructurado con validaciones locales y confirmación previa al envío, lo que favorece la comprensión del proceso sin añadir complejidad.
Visibilidad de estados del registro	Ausencia de indicadores; era necesario ingresar al formulario para conocer si un registro había sido enviado.	Dos estados operativos visibles (“en progreso” y “enviado”), con jerarquía visual clara desde la pantalla principal.
Validaciones locales en tiempo real	Validaciones realizadas al momento del envío; mayor riesgo de pérdida de información.	Validaciones inmediatas en el dispositivo, incluso sin conexión, reduciendo errores de captura.
Confirmación y retroalimentación de acciones	Retroalimentación limitada o poco perceptible; incertidumbre sobre guardado o sincronización.	Confirmaciones explícitas y retroalimentación visual mediante modales, indicadores e iconografía coherente.
Operación sin conexión	Modo <i>offline</i> existente, pero dependiente de licenciamiento y con capacidades restringidas de sincronización.	Modo <i>offline</i> nativo y validado en campo, con persistencia local y sincronización sin dependencias externas.

Cuadro 5. Continuación Cuadro 5.

Indicador de proceso	Antes (herramienta vigente)	Después (aplicación propuesta)
Visibilidad del estado de conexión	Indicadores no persistentes o visibles solo dentro del formulario.	Indicador persistente de conectividad (<i>online/offline</i>) en la barra superior, visible en la aplicación.
Modos de acceso	Único método de ingreso mediante credenciales.	Doble modalidad de acceso (QR y credenciales), facilitando el uso en campo y reduciendo fricción operativa.
Gestión de información y seguridad	Eliminación automática diaria de información local y cierre de sesión por seguridad.	Conservación local controlada, eliminación confirmada por el usuario y cierre de sesión automático diario, manteniendo el estándar de seguridad.
Licenciamiento y mantenimiento	Dependencia de licencias externas y limitaciones de personalización.	Arquitectura modular y libre de licenciamiento externo, desarrollada para mantenimiento institucional y escalabilidad futura.

Nota. Elaboración propia.

8.5.3. Interpretación de resultados

El análisis evidencia que las mejoras implementadas en la nueva aplicación responden directamente a los requerimientos identificados durante el diagnóstico. La interfaz rediseñada introduce validaciones locales, retroalimentación visual inmediata y estados visibles del flujo, elementos que fortalecen la confianza del usuario y reducen la incertidumbre durante la captura de datos. Además, la independencia del licenciamiento externo y la arquitectura modular promueven la autonomía tecnológica y facilitan la evolución funcional del sistema.

8.5.4. Síntesis en función de los resultados observados

Los resultados obtenidos reflejan una correspondencia directa entre las necesidades detectadas en la herramienta previa —limitada visibilidad, escasa personalización y dependencia tecnológica— y las mejoras introducidas en la nueva solución. Las validaciones en tiempo real, la interfaz responsiva y la retroalimentación visual consolidan una experiencia más intuitiva, mientras que el modo *offline* nativo y la arquitectura modular garantizan continuidad y sostenibilidad técnica a largo plazo.

8.5.5. Implicaciones operativas

A partir de la comparación, se identifican los siguientes efectos operativos:

- Mayor transparencia en el avance y estado de los registros.
- Disminución de errores por validaciones inmediatas e indicadores visibles.
- Continuidad operativa en contextos sin conexión mediante persistencia local y sincronización diferida.

- Refuerzo de la seguridad y trazabilidad sin modificar las políticas de eliminación diaria.
- Autonomía institucional derivada de la eliminación del licenciamiento externo y adopción de arquitectura modular.

8.5.6. Consideraciones finales

La comparación permite observar una evolución coherente con los requerimientos planteados durante el diseño: un sistema más transparente, autónomo y adaptable a las condiciones del entorno agrícola. Sin recurrir a mediciones temporales, la consistencia entre la evidencia cualitativa, la percepción de los usuarios y el cumplimiento de los requerimientos técnicos permite inferir una mejora significativa en la claridad operativa y la sostenibilidad de la herramienta.

Los resultados reflejan una aplicación funcional, accesible y contextualizada a las condiciones reales del entorno agrícola. El proceso iterativo de diseño permitió transformar una estructura inicial genérica en una herramienta centrada en el usuario, integrando accesibilidad visual, usabilidad y autonomía operativa. Asimismo, las pruebas de campo demostraron que los usuarios pudieron ejecutar sus tareas sin errores críticos, confirmando la efectividad del enfoque metodológico adoptado.

El desarrollo del sistema móvil de recolección de datos para la Compañía Agrícola Industrial Santa Ana S. A. evidenció la efectividad de las tecnologías híbridas, como React Native y Expo, para entornos agrícolas caracterizados por limitaciones de conectividad y condiciones ambientales adversas. La integración de almacenamiento local y sincronización diferida aseguró la continuidad operativa incluso en zonas sin cobertura de red, lo que fortaleció los procesos de digitalización del ingenio y redujo la dependencia de plataformas con licenciamiento externo.

En cumplimiento con los objetivos específicos, se alcanzaron los siguientes resultados:

- Se analizaron los principales desafíos y necesidades en la recopilación de información agrícola mediante un proceso de investigación con usuarios del ingenio, gracias al cual se identificaron problemas críticos relacionados con las condiciones climáticas, limitaciones tecnológicas y barreras de accesibilidad.
- Se desarrolló un modelo de formularios adaptables que permite capturar datos de forma flexible según el tipo de cultivo y las condiciones del entorno, mediante una estructura configurable que interpreta dinámicamente las definiciones del servidor.
- Se validó la eficiencia y la usabilidad de la herramienta mediante pruebas con usuarios finales, quienes evaluaron la aplicación realizando la captura de datos, creación de registros y sincronización al recuperar conectividad.

El proceso de diseño centrado en el usuario confirmó la relevancia de la accesibilidad visual y la retroalimentación inmediata. Los resultados del análisis de seguimiento ocular (*eye-tracking*), realizado en el laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala, mostraron una distribución visual equilibrada y un reconocimiento eficiente de los elementos interactivos, lo que validó la jerarquía de información y el contraste cromático definidos en el diseño.

Por último, las pruebas de campo reflejaron que la aplicación es una solución viable y adecuada para las necesidades del ingenio. La visibilidad de los estados de registro (“En progreso” y “Enviado”), junto con la reducción de elementos secundarios, aportaron transparencia al proceso y mayor confianza en la ejecución de tareas, lo que consolidó una herramienta coherente con los principios de usabilidad, eficiencia y sostenibilidad tecnológica.

El análisis de resultados sugiere diversas líneas de acción orientadas a la consolidación y la evolución del sistema implementado:

- Fortalecimiento de la capacitación de usuarios finales. La continuidad del proceso de adopción podría beneficiarse de módulos breves de entrenamiento presencial o virtual, centrados en el uso eficiente de la aplicación, la comprensión de los estados “En progreso” y “Enviado”, y la resolución de incidencias comunes en el modo *offline*.
- Integración con sistemas corporativos de gestión. La vinculación del módulo de campo con plataformas internas de trazabilidad y control de producción permitiría automatizar el flujo de información y reducir los tiempos de procesamiento administrativo, manteniendo la interoperabilidad bajo formatos abiertos.
- Monitoreo sistemático del desempeño. La incorporación de métricas de uso, como frecuencia de sincronización, tiempos de llenado o errores recurrentes, facilitaría la identificación de patrones de uso y oportunidades de mejora continua, fortaleciendo la toma de decisiones basada en evidencia.
- Mantenimiento técnico y actualización evolutiva. Considerando la autonomía tecnológica alcanzada, se recomienda establecer un plan de mantenimiento preventivo y actualización periódica de dependencias y librerías, para garantizar compatibilidad con nuevas versiones de Android e iOS.
- Optimización del funcionamiento *offline*. La integración de validaciones previas al envío, mecanismos de compresión de datos y monitoreo de sincronización podría incrementar la eficiencia del sistema en dispositivos de menor capacidad y en entornos con conectividad limitada.
- Revisión constante de la accesibilidad visual. Las futuras iteraciones del diseño deberían continuar verificando el cumplimiento de las pautas WCAG 2.1 en contraste, tamaño táctil y legibilidad, lo que aseguraría la inclusión de todos los usuarios y la consistencia en condiciones de alta luminosidad.
- Ampliación del sistema a nuevos procesos operativos. Dada la arquitectura modular y la independencia de licencias externas, el sistema puede extenderse progresivamente a otras áreas del ingenio, promoviendo una digitalización integral y sostenible de los procesos productivos.

- 650 Industries, Inc. (2025). *Create a project*. Expo Documentation. <https://docs.expo.dev/get-started/create-a-project/>
- Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2012). *Software Architecture in Practice* (3.^a ed.). Addison-Wesley.
- Bidkar, A. (2023). *Comparing Software Architecture Patterns MVC vs. MVP vs. MVVM*. Masai Blog. <https://www.masaischool.com/blog/comparing-software-architecture-patterns/>
- Bin Uzayr, S. (2022). *Mastering React Native: A Beginner's Guide* (1.^a ed.). CRC Press. https://books.google.com.gt/books/about/Mastering_React_Native.html?id=RtUqzwEACAAJ
- Brown, T. (2009). *Change by Design: How Design Thinking Creates New Alternatives for Business and Society*. Harvard Business Press. https://books.google.com.gt/books/about/Change_by_Design.html?hl=es&id=x7PjWyVUoVAC&redir_esc=y
- Calvo, A. (2021). *Caso de éxito: Toni Tarrida se ahorra 6.000€ con Agroptima costes*. Agroptima. <https://blog.agroptima.com/es/blog/caso-de-exito-toni-tarrida/>
- Dam, R., & Teo, Y. (2024). *Personas – A Simple Introduction*. The Interaction Design Foundation (IXDF). <https://www.interaction-design.org/literature/article/personas-why-and-how-you-should-use-them>
- Ecma International. (2017). *The JSON data interchange syntax (ECMA-404)* (2.^a ed.). <https://www.ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-404/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Telecommunication Union (ITU). (2022). Status of digital agriculture in 47 sub-Saharan African countries. *FAO Knowledge Repository*, 1-364. <https://doi.org/10.4060/cb7943en>
- Frost, B. (2016). *Atomic Design*. Brad Frost. <https://atomicdesign.bradfrost.com>
- Gobierno de España. (2023). *Guía de formatos abiertos para datos públicos*. datos.gob.es. <https://datos.gob.es>
- Gratzer Graphics LLC. (2021). *Understanding Color Accessibility*. <https://gratzergraphics.com/blog/understanding-color-accessibility>

- Gulliksen, J., Göransson, B., Boivie, I., Blomkvist, S., Persson, J., & Cajander, A. (2003). Key principles for user-centred systems design. *Behaviour & Information Technology*, 22(6), 397-409. <https://doi.org/10.1080/01449290310001624329>
- Hartung, C., Lerer, A., Anokwa, Y., Tseng, C., Brunette, W., & Borriello, G. (2010). Open data kit: tools to build information services for developing regions. *Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Information and Communication Technologies and Development*, 1-12. <https://doi.org/10.1145/2369220.2369236>
- Heitkötter, H., Hanschke, S., & Majchrzak, T. (2012). Evaluating cross-platform development approaches for mobile applications. *Web Information Systems and Technologies*, 120-138. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36608-6_8
- Interlink Software, S.A. (2025). *Formularios digitales móviles de fácil creación y captura*. Digiforms. <https://digiformsapp.com>
- International Organization for Standardization (ISO). (2013). *Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements (ISO/IEC 27001:2013)* (2.^a ed.). <https://www.iso.org/standard/54534.html>
- International Organization for Standardization (ISO). (2019). *Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems (ISO 9241-210:2019)* (2.^a ed.). <https://www.iso.org/standard/77520.html>
- International Organization for Standardization (ISO) and International Electrotechnical Commission (IEC). (2024). *Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Quality model overview and usage (ISO/IEC 25002:2024)* (1.^a ed.). <https://www.iso.org/standard/78175.html>
- International Telecommunication Union (ITU). (2024). *Measuring digital development: Facts and Figures 2024*. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/facts/default.aspx>
- Jošt, G., & Taneski, V. (2025). State-of-the-Art Cross-Platform Mobile Application Development Frameworks: A Comparative Study of Market and Developer Trends. *Informatics*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/informatics12020045>
- Kelley, T., & Kelley, D. (2013). *Creative Confidence: Unleashing the Creative Potential Within Us All* (1.^a ed.). Crown Business. https://books.google.com.gt/books/about/Creative_Confidence_Unleashing_the_Creat.html?id=OAo0DZ_N580C
- Kemp, S. (2024). *Digital 2024: Global Overview Report*. DataReportal. <https://datareportal.com/reports/digital-2024-global-overview-report>
- Kothapalli, M. (2021). The Evolution of Component-Based Architecture in Front-End Development. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 8(7), 261-264. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12772844>
- Krug, S. (2014). *Don't Make Me Think, Revisited: A Common Sense Approach to Web Usability* (3.^a ed.). New Riders. https://books.google.com.gt/books/about/Don_t_Make_Me_Think_Revisited.html?id=QlduAgAAQBAJ
- Lidwell, W., Holden, K., & Butler, J. (2010). *Universal Principles of Design* (2.^a ed.). Rockport Publishers.
- Malavolta, I. (2016). Web-Based Hybrid Mobile Apps: State of the Practice and Research Opportunities. *2016 IEEE/ACM International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft)*, 241-242. <https://doi.org/10.1145/2897073.2897133>
- Medhi, I., Sagar, A., & Toyama, K. (2006). Text-Free User Interfaces for Illiterate and Semi-Literate Users. *2006 International Conference on Information and Communication Technologies and Development*, 72-82. <https://doi.org/10.1109/ICTD.2006.301841>

- Meta Platforms, Inc. (2025). *AsyncStorage*. React Native. <https://reactnative.dev/docs/0.81/asyncstorage>
- Mittal, A. (2023). *How to use styled-components with React Native*. LogRocket Blog. <https://blog.logrocket.com/how-use-styled-components-react-native/>
- Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering* (1.^a ed.). Morgan Kaufmann. https://books.google.com/books/about/Usability_Engineering.html?id=95As2OF67f0C
- Norman, D. (2013). *The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition* (Ed. rev.). Basic Books. https://books.google.com/books/about/The_Design_of_Everyday_Things.html?id=nVQPAAAAQBAJ
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *Interoperability of Agricultural Data Systems: Challenges and Best Practices*. <https://www.fao.org/>
- OWASP Foundation, Inc. (2024). *OWASP Mobile Top 10*. <https://owasp.org/www-project-mobile-top-10/>
- Palmieri, M., Singh, I., & Cicchetti, A. (2012). Comparison of cross-platform mobile development tools. *2016 IEEE/ACM International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft)*, 179-186. <https://doi.org/10.1109/ICIN.2012.6376023>
- Plattner, H., Meinel, C., & Leifer, L. (Eds.). (2011). *Design Thinking: Understand – Improve – Apply* (1.^a ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-13757-0>
- Shafanovich, Y. (2005). *Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files (RFC 4180)*. Internet Engineering Task Force (IETF). <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4180>
- Shanahan, M., & Bahia, K. (2023). *The State of Mobile Internet Connectivity Report 2023*. GSM Association (GSMA). <https://www.gsma.com/r/somic>
- Sridharan, P. (2020). *React Native for Mobile Development* (1.^a ed.). Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5936-6>
- Stack Overflow. (2023). *2023 Developer Survey: Most Popular Technologies*. <https://survey.stackoverflow.co/2023/#technology-most-popular-technologies>
- The Interaction Design Foundation (IxDF). (2024). *Wireframes*. <https://www.interaction-design.org/literature/topics/wireframes>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2023). *Global Education Monitoring Report 2023: Technology in Education – A Tool on Whose Terms?* UNESCO. <https://doi.org/10.54676/UZQV8501>
- Ware, C. (2013). *Information Visualization: Perception for Design* (3.^a ed.). Elsevier. https://books.google.com.gt/books/about/Information_Visualization.html?id=L8YI65W-pFAC
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. (2017). Big Data in Smart Farming—A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- World Wide Web Consortium (W3C). (2018). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
- World Wide Web Consortium (W3C). (2024a). *Design Tokens and Component Abstraction*. <https://www.w3.org/TR/design-tokens/>
- World Wide Web Consortium (W3C). (2024b). *Mobile Accessibility at W3C*. Web Accessibility Initiative (WAI). <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/mobile/>
- Zarichuk, N. (2023). Comparative analysis of frameworks for mobile application development: Native, hybrid, or cross-platform solutions. *Bulletin of Cherkasy State Technological University*, (4), 84-92. <https://doi.org/10.62660/2306-4412.4.2023.19-27>

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, *36*(2–3), 113-132. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)

12.1. Instrumentos de recolección

12.1.1. Consentimiento informado

El siguiente documento fue presentado a los participantes antes de la aplicación de la encuesta diagnóstica, con el fin de garantizar que su participación fuera voluntaria y plenamente informada.

Figura 38. Consentimiento informado para los participantes.

Consentimiento informado

Este formulario tiene como propósito solicitar su autorización para participar en un proyecto de investigación con el título **"Diseño de una aplicación para recolección de datos agrícolas en campo – Caso: Ingenio Azucarero"**, que llevará a cabo el estudiante **Diego Hernández** de quinto año de la carrera **Ingeniería en Ciencias de la Computación** de la **Universidad del Valle de Guatemala**.

El proyecto se realiza bajo la supervisión del **Departamento de Ciencias de la Computación**, en el marco de un proceso de investigación académica para la obtención del título de ingeniero. La finalidad de este documento es brindarle toda la información necesaria acerca del estudio, aclarar sus dudas y garantizar que su participación sea totalmente voluntaria e informada.

El objetivo de este estudio es recopilar información de usuarios reales que trabajan en campo dentro de un ingenio azucarero, con el fin de diseñar una aplicación digital que facilite el registro de datos operativos, considerando las condiciones reales del entorno (clima, conectividad, uso de guantes, dispositivos móviles, etc.) y el uso actual de herramientas como Digiforms.

El procedimiento consistirá en responder una encuesta compuesta por preguntas sobre su experiencia laboral, tecnología utilizada, dificultades en el registro de datos y preferencias sobre una posible nueva aplicación. Esta encuesta tiene una duración estimada de entre 10 y 15 minutos.

Su participación en este estudio no representa ningún riesgo para usted, y su contribución permitirá comprender mejor las necesidades reales del personal de campo y orientar el desarrollo de soluciones tecnológicas más accesibles y eficientes. Su colaboración es totalmente voluntaria, y no habrá ninguna compensación económica. Usted podrá retirarse en cualquier momento durante la encuesta sin repercusiones de ningún tipo.

Si tiene alguna duda o comentario sobre este estudio puede comunicarse con el estudiante a cargo: **Diego Hernández** – correo electrónico: [her21270@uvg.edu.gt] o con el **Departamento de Ciencias de la Computación** al teléfono: 2507-1500, extensión 21619

Nota. Elaboración propia.

12.1.2. Encuesta diagn3stica aplicada a colaboradores

El instrumento fue dise1ado con el prop3sito de identificar las principales dificultades en la captura de datos en campo, as3 como evaluar la experiencia de los colaboradores con herramientas digitales existentes. El cuestionario fue elaborado en Google Forms y permanece disponible para consulta en el siguiente enlace: <https://forms.gle/XfEfeMeGCKVaTow89>

A continuaci3n, se transcriben las preguntas incluidas en la encuesta estructurada aplicada a los colaboradores del ingenio Santa Ana:

1. Nombre completo.
2. Cu3l es su edad?
3. Cu3l es su rol en el ingenio?
 - T3cnico/a
 - Supervisor/a
 - Capacitador/a
 - Agricultor/a
 - Otros
4. Qu3 nivel de estudios tiene?
 - Primaria incompleto
 - Primaria completo
 - B3sico / Secundaria
 - Diversificado (Bachillerato, Perito)
 - Universitario incompleto
 - Universitario completo
5. Qu3 tipo de dispositivo usa normalmente en campo?
 - Tel3fono b3sico
 - Tel3fono inteligente (Android)
 - iPhone
 - Tablet
 - Otros
6. Qu3 tan seguido usa ese dispositivo para su trabajo?
 - Todos los d3as
 - Algunas veces
 - Casi nunca
7. Qu3 herramientas ha usado para eso?
 - Digiforms
 - Formularios en papel
 - WhatsApp
 - Google Forms
 - Otros

8. ¿En qué condiciones suele usar su celular mientras trabaja?
 - Uso guantes
 - Manos sucias o húmedas
 - Reflejo del sol en pantalla
 - No hay señal
 - Poca batería
 - Otros
9. ¿Ha tenido problemas para tocar o ver la pantalla en esas condiciones?
 - Sí
 - No
10. ¿Ha tenido que llenar un mismo dato en papel y luego digitalmente?
 - Sí
 - No
 - A veces
11. ¿Usa el celular con una sola mano o ambas?
 - Una mano
 - Ambas
 - Depende
12. ¿Prefiere pantallas con letra grande o letra más pequeña?
 - Letra grande
 - Letra normal
 - Me da igual
13. ¿Qué le ha resultado difícil al usar otras aplicaciones móviles en su trabajo?
 - Entender qué llenar en cada campo
 - Leer letras o botones muy pequeños
 - No sabía si se había guardado bien
 - Nada, todo ha sido fácil
 - Otros
14. ¿Qué elementos cree que deberían ser más grandes o visibles en la app?
 - Botones
 - Texto
 - Imágenes
 - Instrucciones
 - Otros
15. ¿Le gustaría poder llenar el formulario sin internet y enviarlo después?
 - Sí
 - No
 - Me da igual

16. ¿Qué le gustaría que tenga la app para que sea más fácil de usar? (Marque hasta 2)
- Botones grandes
 - Pocos pasos
 - Guía visual
 - Modo sin internet
 - Confirmación antes de enviar
17. ¿Preferiría ver una sola pregunta a la vez o todo el formulario de una vez?
- Una por una
 - Todo junto
 - Me da igual
18. ¿Qué tan común es cometer errores al llenar un formulario?
- Rara vez
 - A veces
 - Muy frecuente
19. En una escala del 1 al 5, ¿qué tan cómodo se siente usando aplicaciones móviles para el trabajo?
- 1 – Nada cómodo
 - 2 – Poco cómodo
 - 3 – Neutro
 - 4 – Cómodo
 - 5 – Muy cómodo
20. ¿Le gustaría recibir una guía rápida o capacitación para usar esta nueva app?
- Sí, en persona
 - Sí, por video o imagen
 - No, prefiero explorarla solo
 - Otros
21. ¿Alguna vez ha tenido que repetir un formulario por error?
- Sí
 - No
 - No recuerdo

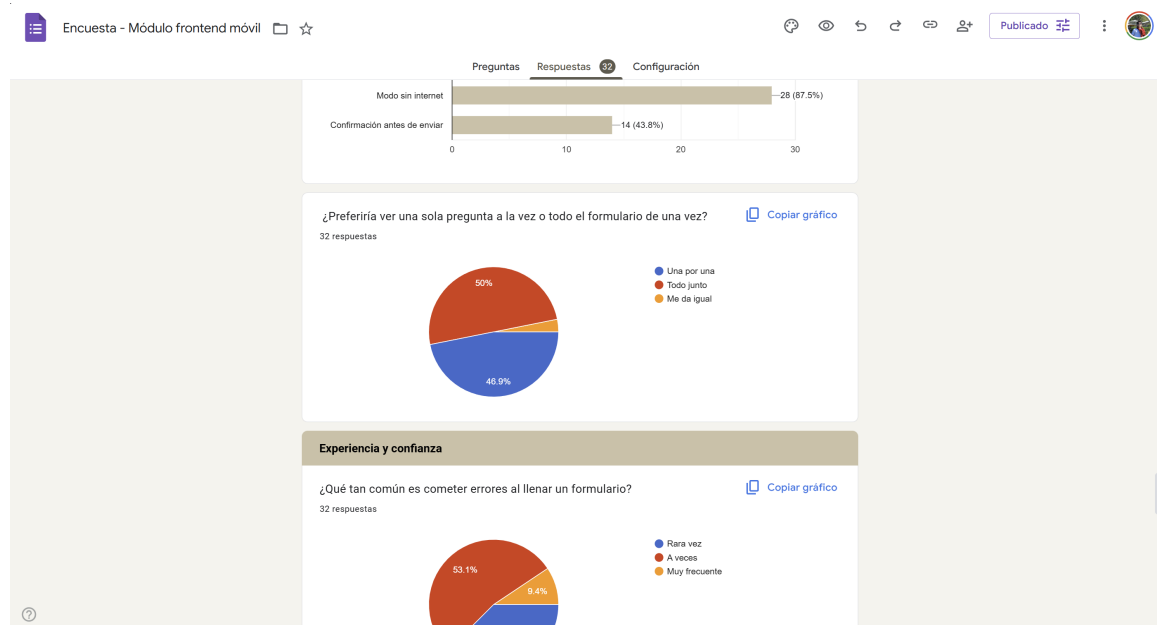
12.2. Resultados de encuestas y observaciones

En este anexo se presenta la evidencia complementaria del proceso de recolección y análisis de datos correspondiente a la encuesta diagnóstica aplicada a los colaboradores del ingenio Santa Ana.

Las gráficas mostradas en la sección de resultados representan los hallazgos más relevantes. A continuación, se incluyen una captura adicional que demuestra el procesamiento de datos realizado en Google Forms, así como las respuestas agregadas que sirvieron de base para el análisis.

12.2.1. Evidencia de resultados obtenidos en Google Forms

Figura 39. Panel general de resultados de la encuesta diagnóstica en Google Forms.



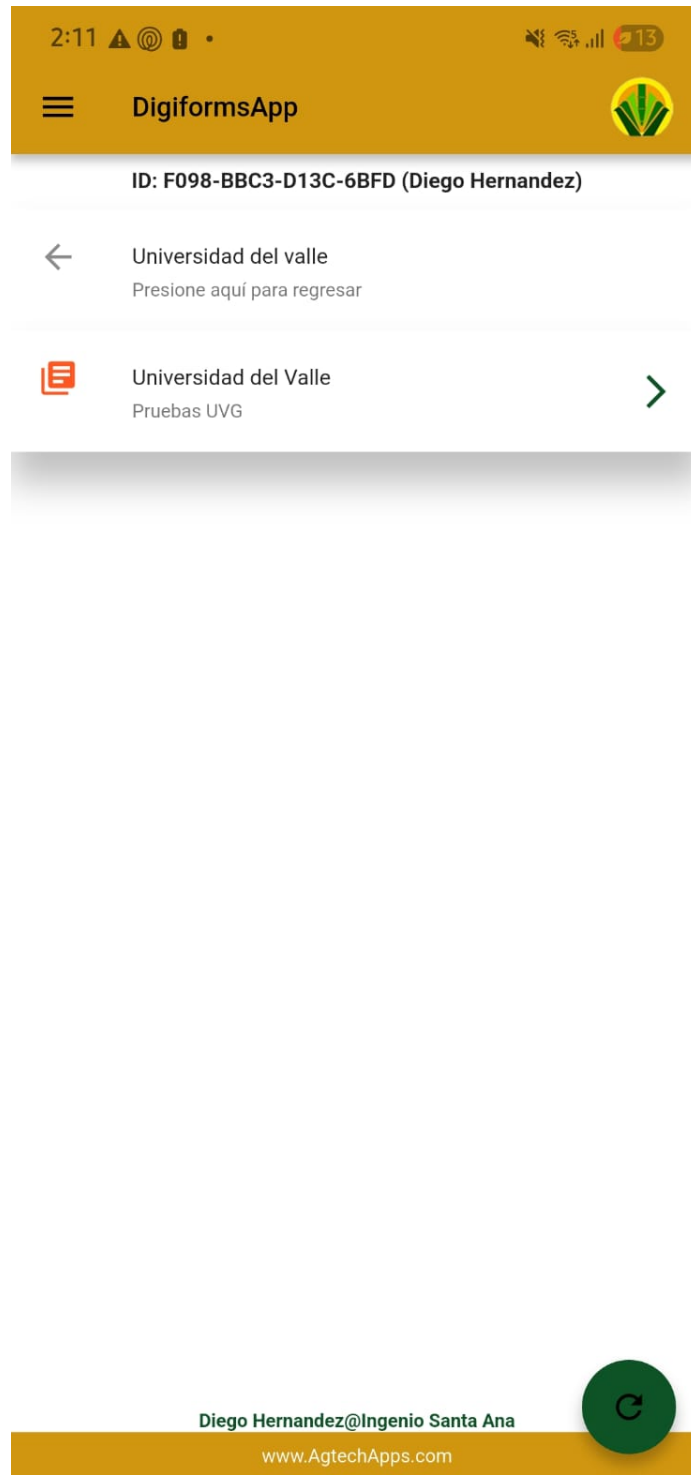
Nota. Elaboración propia.

12.3. Evidencia visual

12.3.1. Capturas de la aplicación original (Digiforms)

Se incluyen imágenes de la herramienta actualmente utilizada como punto de comparación con la nueva aplicación propuesta.

Figura 40. Interfaz principal de la aplicación Digiforms.



Nota. Elaboración propia.

Figura 41. Vista de formulario en Digiforms.



2:11 [Icons] [Icons] [Icons]

< Universidad del Valle

76736	76737	76738	76740	76854
77014	77049	77234	77237	77238
77269	77274	77288	77289	77291
77294	77302	77303	77307	77310
77315	77393	77426	77427	77429
77431	77436	77455	77457	77511
77512	77516	77519	77520	77523
77549	77554	77556	77558	77562
77563	77568	77600	77603	77608
77628	77629	77746	76898	76901
76903	76908	76918	76926	77042
77069	77020			

Prueba 2 ▼

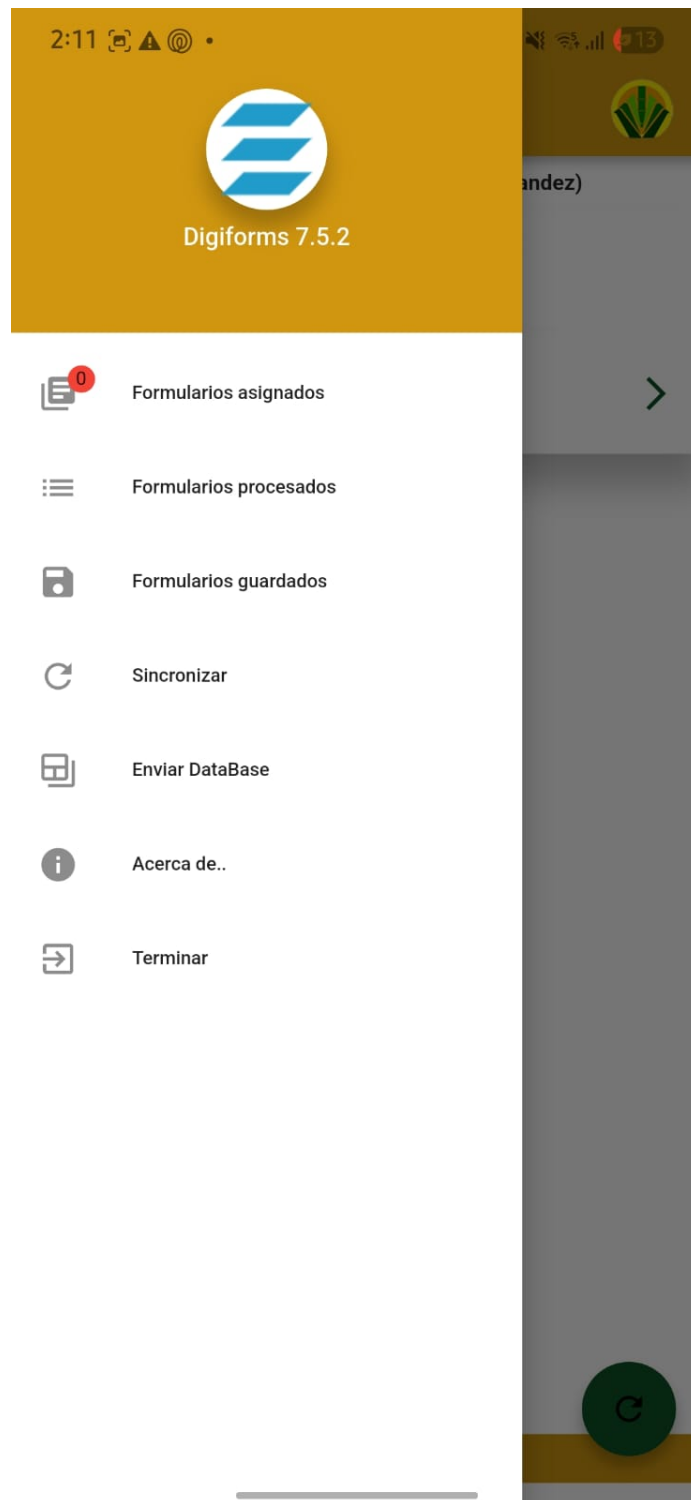
rfr

drg

CONTINUAR REGRESAR

Nota. Elaboración propia.

Figura 42. Vista de gestión de Digiforms.

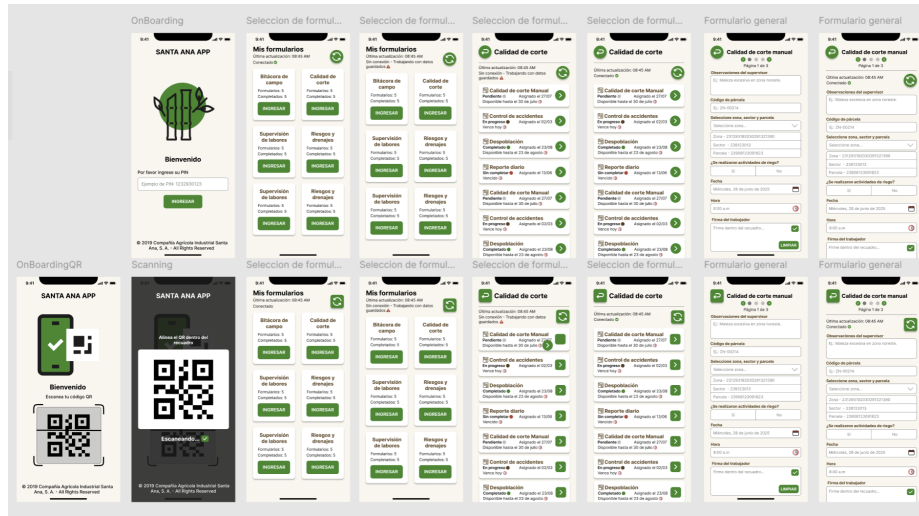


Nota. Elaboración propia.

12.3.2. Prototipo de alta fidelidad en Figma

El prototipo fue elaborado en Figma, incorporando la paleta de colores accesible y las tipografías definidas según pautas WCAG 2.1. A continuación se muestran algunas de las pantallas principales del flujo de usuario.

Figura 43. Pantallas del prototipo de alta fidelidad en Figma.



Nota. Elaboración propia.

12.3.3. Evidencia de participación en las pruebas de eye-tracking

Como parte del proceso de validación en laboratorio, se realizaron pruebas con cuatro participantes distintos utilizando tecnología Tobii de seguimiento ocular (*eye-tracking*). Las siguientes imágenes constituyen evidencia de la participación efectiva de los usuarios durante las sesiones experimentales, registradas en el Laboratorio de Innovación de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 44. Participante 1 durante la prueba de seguimiento ocular.



Nota. Elaboración propia.

Figura 45. Participante 2 durante la prueba de seguimiento ocular.



Nota. Elaboración propia.

Figura 46. Participante 3 durante la prueba de seguimiento ocular.



Nota. Elaboración propia.

Figura 47. Participante 4 durante la prueba de seguimiento ocular.

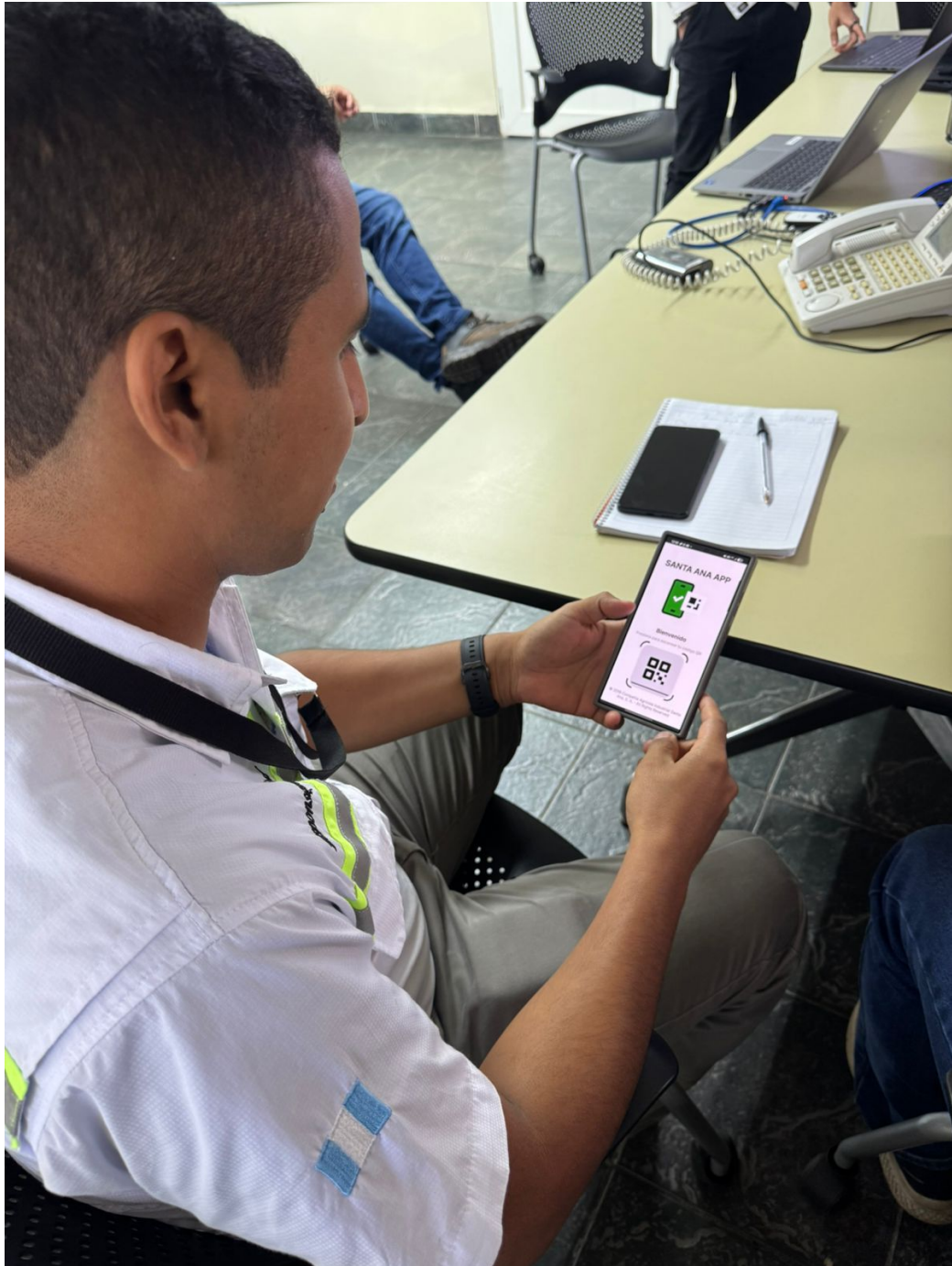


Nota. Elaboración propia.

12.3.4. Pruebas de usabilidad en campo

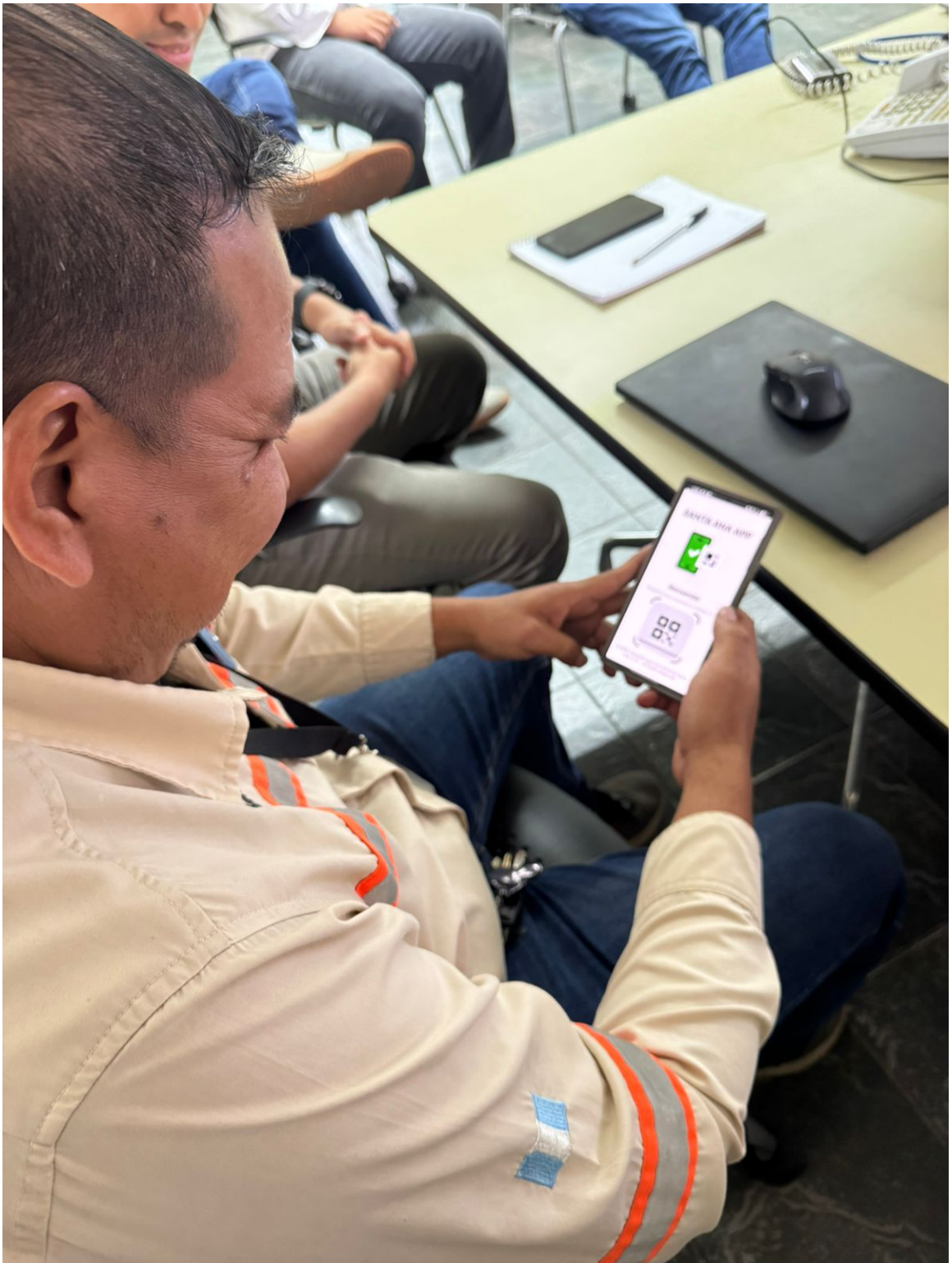
Durante la validación con usuarios finales, se realizaron sesiones en el ingenio Santa Ana bajo condiciones reales de operación. A continuación, se incluyen fotografías representativas del proceso.

Figura 48. Prueba de usabilidad en campo – Usuario 1.



Nota. Elaboración propia.

Figura 49. Prueba de usabilidad en campo – Usuario 2.



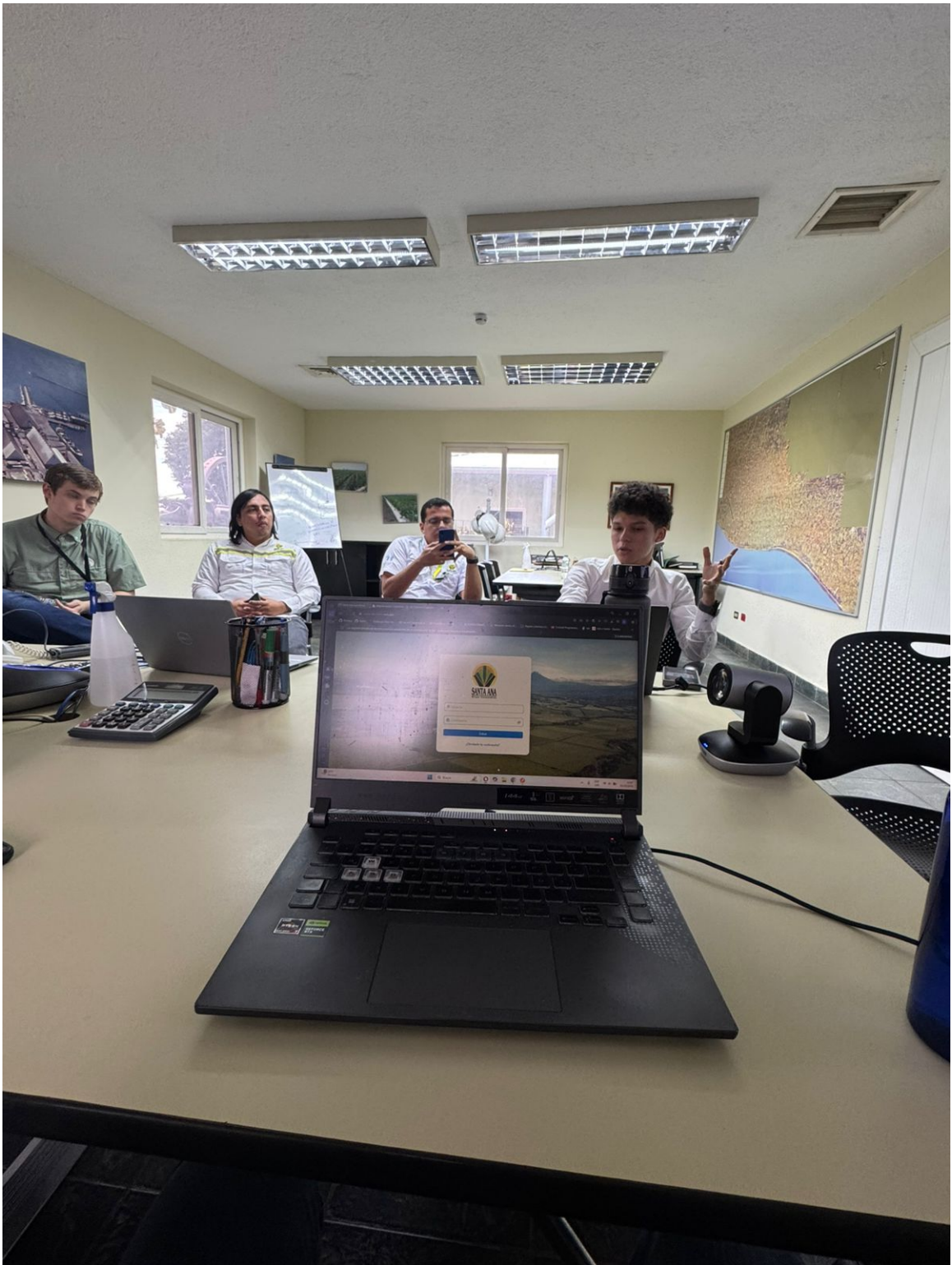
Nota. Elaboración propia.

Figura 50. Prueba de usabilidad en campo – Usuario 3.



Nota. Elaboración propia.

Figura 51. Reunión de validación con personal del ingenio Santa Ana.



Nota. Elaboración propia.

12.3.5. Evidencia fotográfica de la visita técnica

Figura 52. Evidencia fotográfica del ingenio Santa Ana durante la visita técnica.



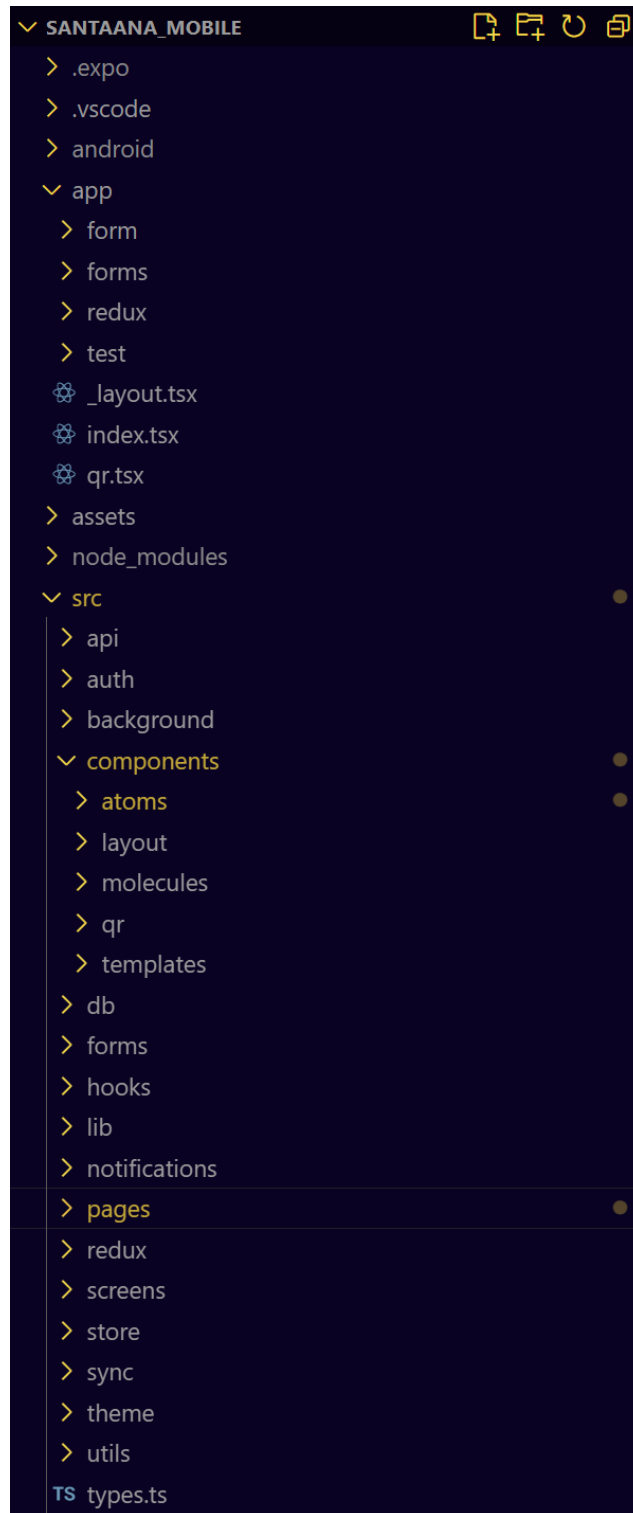
Nota. Elaboración propia.

12.4. Código o estructura técnica

12.4.1. Estructura general del proyecto *frontend*

Organización de carpetas y módulos desarrollados en React Native bajo el entorno Expo.

Figura 53. Estructura de carpetas del *frontend*.

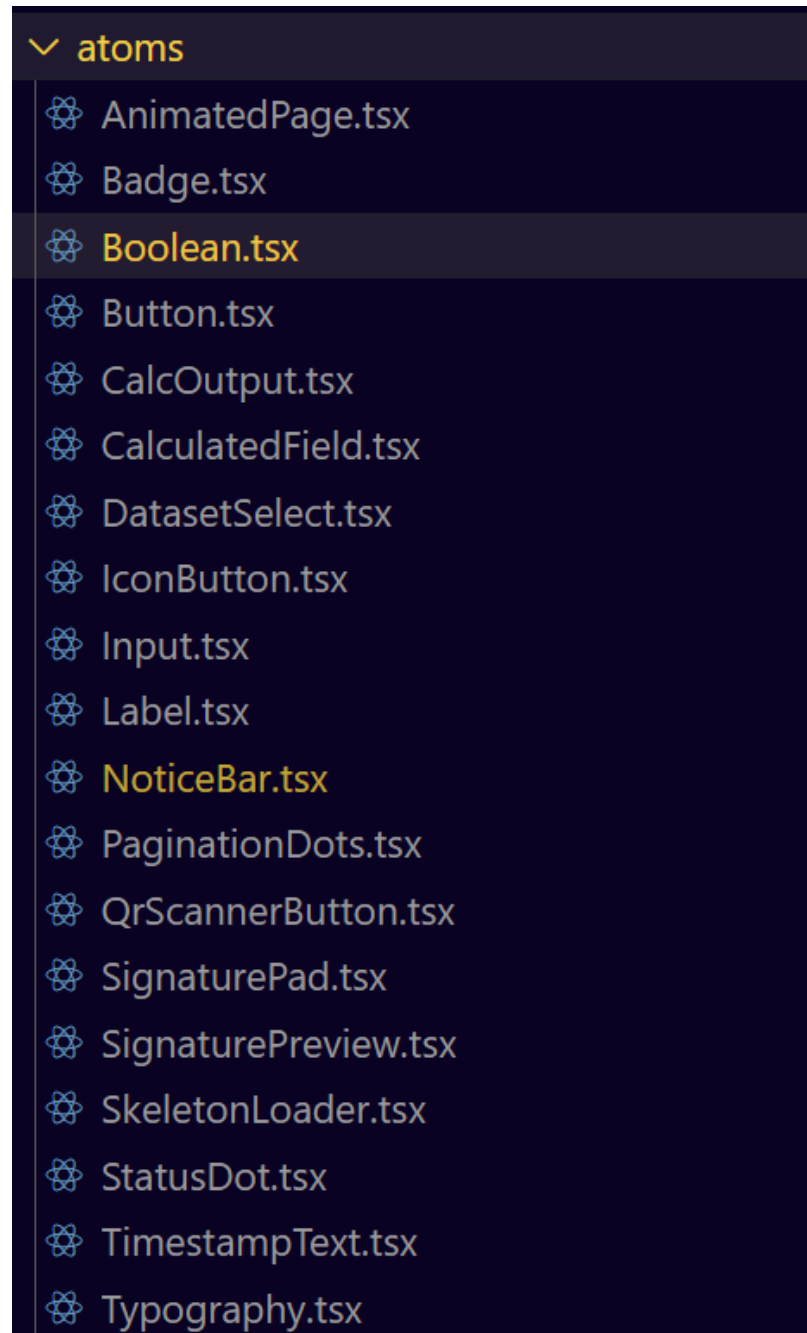


Nota. Elaboración propia.

12.4.2. Ejemplos de componentes o funciones clave

Fragmentos representativos del código fuente que ilustran la aplicación del enfoque modular y las validaciones locales en tiempo real.

Figura 54. Ejemplo de componentes clave implementados en React Native.



Nota. Elaboración propia.

12.4.3. Archivo ejecutable

Con el propósito de facilitar la revisión técnica y la validación práctica del módulo móvil desarrollado, se incluye el siguiente recurso digital complementario:

- **Archivo ejecutable (APK):** versión compilada para dispositivos Android, generada mediante *EAS Build*. Permite instalar y probar directamente la aplicación desarrollada sin necesidad de entorno de desarrollo. https://expo.dev/accounts/dahernandez/projects/SantaAna_Mobile/builds/8772f366-0b4e-4531-8549-d849ee629954

Figura 55. Código QR para descarga directa del archivo APK.



Nota. Elaboración propia.

El código QR mostrado en la Figura 55 redirige al enlace oficial del build publicado en *Expo.dev*, permitiendo la instalación directa del módulo móvil en dispositivos Android compatibles.

12.5. Documento de soporte

12.5.1. Manual de usuario del módulo móvil

El manual de usuario elaborado en Canva documenta de forma detallada el funcionamiento del módulo móvil de recolección de datos desarrollado para el ingenio Santa Ana. Incluye instrucciones paso a paso, capturas de pantalla de cada pantalla del sistema, descripción de campos, modos de operación (*offline* y sincronización), y pautas de resolución de errores comunes.

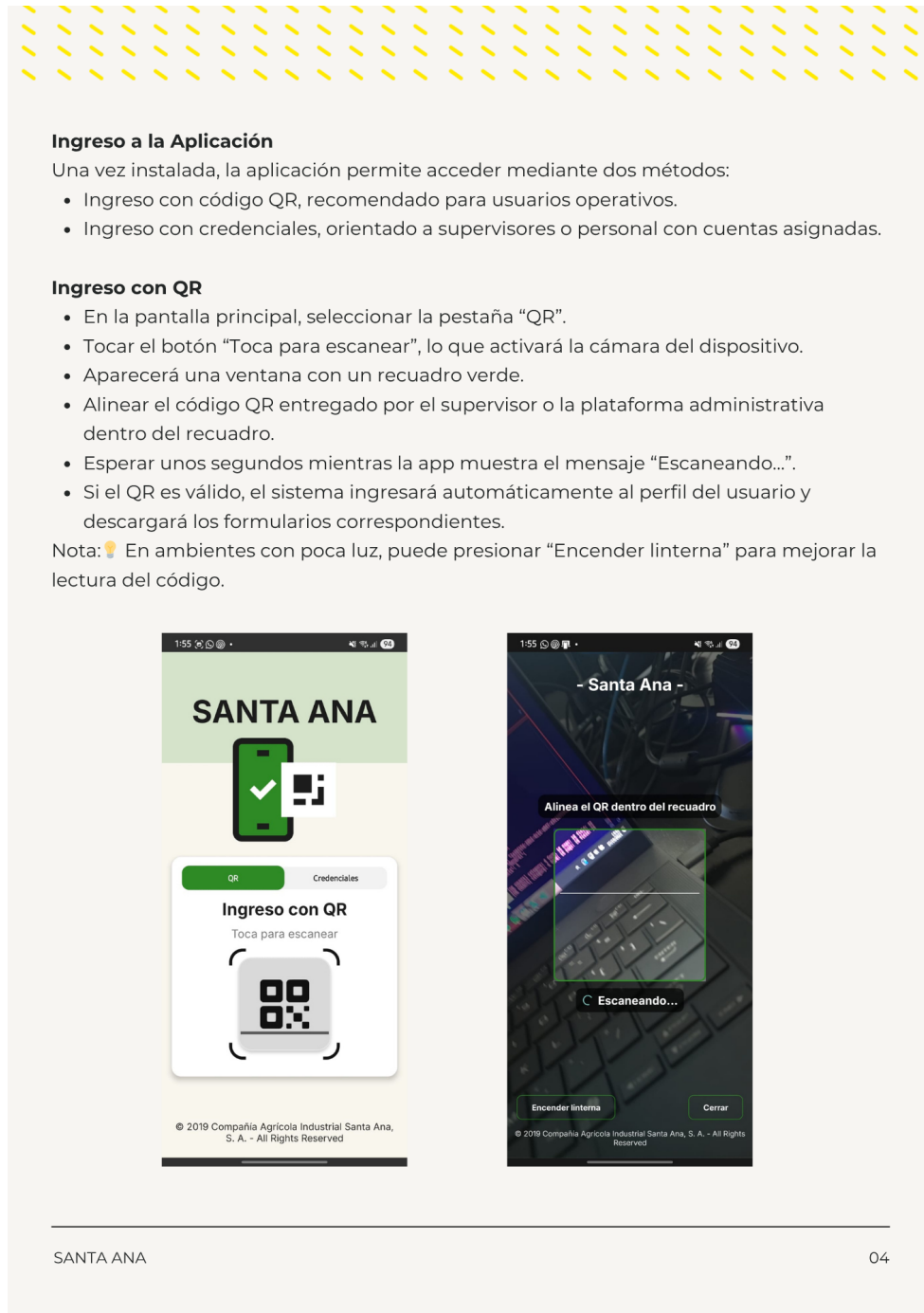
En este anexo se muestra un extracto representativo del documento original; la versión completa se encuentra disponible en el repositorio digital del proyecto o puede ser consultada mediante el enlace proporcionado al comité evaluador.

Figura 56. Portada del manual de usuario desarrollado en Canva.



Nota. Elaboración propia.

Figura 57. Ejemplo de sección del manual: vista de la interfaz principal.



Nota. Elaboración propia.

Enlace al documento completo:

https://www.canva.com/design/DAG3Ff0iDTY/3ix1wLrcC0X1XSgqSD4ktg/edit?utm_content=DAG3Ff0iDTY&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

- Accesibilidad.** Propiedad de un sistema que permite ser utilizado por el mayor número posible de personas, incluidas aquellas con discapacidades o limitaciones temporales.
- Alta fidelidad.** Modelo visual detallado e interactivo que simula la experiencia final para pruebas más realistas.
- Aplicación híbrida.** Aplicación móvil que combina tecnologías web con contenedores nativos para ejecutarse en distintas plataformas.
- Aplicación nativa.** Aplicación desarrollada específicamente para un sistema operativo, aprovechando sus recursos y API nativas.
- Atomic design.** Metodología de diseño que organiza interfaces en cinco niveles: átomos, moléculas, organismos, plantillas y páginas.
- AsyncStorage.** API de almacenamiento local en React Native que permite guardar datos de manera constante en el dispositivo.
- Carga cognitiva.** Esfuerzo mental requerido para procesar información y completar tareas.
- Componente.** Unidad modular reutilizable dentro de una aplicación que encapsula su propia lógica y estilo.
- Cross-platform.** Enfoque de desarrollo que permite crear aplicaciones para múltiples sistemas operativos desde una misma base de código.
- Definir.** Etapa del *design thinking* donde se sintetizan hallazgos para delimitar el problema.
- Design system.** Conjunto estandarizado de componentes, estilos y patrones que aseguran consistencia visual.
- Design thinking.** Metodología centrada en el usuario que busca comprender necesidades y crear soluciones iterativas.
- Empatizar.** Etapa inicial del *design thinking* enfocada en comprender a los usuarios.
- Expo.** Plataforma que proporciona herramientas para desarrollar y compilar apps en React Native.
- Eye-tracking.** Técnica de seguimiento ocular que registra fijaciones y movimientos de la mirada.
- Feedback.** Información inmediata (visual, sonora o textual) sobre el resultado de una acción.
- Figura.** Elemento visual (imagen o diagrama) incluido en un documento académico.

Figma. Herramienta colaborativa de diseño y prototipado en tiempo real.

Fijación ocular. Pausa de la mirada en un punto de la interfaz.

Frontend. Capa visible o interfaz con la que interactúa el usuario final.

Idear. Etapa creativa de *design thinking* orientada a generar múltiples soluciones.

Interoperabilidad. Capacidad de distintos sistemas para intercambiar información de manera efectiva mediante estándares abiertos.

Iteración. Ciclo de mejora continua del diseño basado en retroalimentación.

Journey map. Representación visual de la experiencia completa del usuario.

Escala de Likert. Formato de encuesta que mide actitudes mediante grados de acuerdo o desacuerdo.

Mapa de calor. Visualización de atención en eye-tracking mediante colores.

Modo *offline*. Funcionalidad que permite usar una aplicación sin conexión a internet.

Muestra. Subconjunto de una población utilizado en un estudio o prueba.

Nativewind. Biblioteca de estilos para React Native basada en utilidades tipo Tailwind.

User *persona*. Arquetipo que representa patrones de comportamiento y necesidades de usuarios reales.

Prueba de usabilidad. Evaluación en la que usuarios realizan tareas representativas mientras se observa su desempeño.

Pruebas de campo. Evaluaciones realizadas en entornos reales.

Pruebas de laboratorio. Evaluaciones controladas que permiten aislar variables.

Prototipo. Versión preliminar de un sistema usada para validación.

Prototipar. Etapa donde se crean modelos para prueba y validación.

React Native. Framework para crear apps móviles nativas usando JavaScript y React.

Responsive. Enfoque que adapta interfaces a distintos tamaños y orientaciones de pantalla.

Retroalimentación. Información obtenida de usuarios o del sistema para mejorar el diseño.

Styled components. Biblioteca para escribir estilos encapsulados dentro de componentes en React/React Native.

Testear. Etapa del *design thinking* donde se evalúan prototipos con usuarios.

Triangulación. Uso combinado de métodos (encuestas, observación, *eye-tracking*) para aumentar la validez de resultados.

Usabilidad. Medida en que un sistema permite alcanzar objetivos de forma eficiente, eficaz y satisfactoria.

Validación. Proceso para comprobar que la solución cumple los requisitos y las expectativas de usuarios.

Websocket. Tecnología que permite comunicación una bidireccional en tiempo real.

Wireframe. Boceto o esquema estructural de una interfaz antes de definir estilos finales.