UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"SISTEMA PARA LA GESTIÓN DE EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS DE INSTALACIONES DE MEDIDORES DE AGUA POTABLE EN EL CANTÓN IBARRA, BASADO EN COBIT 2019"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Línea de investigación: Innovación Tecnológica y de productos

AUTOR:

Erick Andres Quilumba Campues

DIRECTOR:

Ing. Carlos Alberto Vásquez Ayala, Msc

Ibarra – Ecuador 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	QUILUMBA CAMPUES ERICK ANDRES

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"SISTEMA PARA LA GESTIÓN DE EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS DE INSTALACIONES DE MEDIDORES DE AGUA POTABLE EN EL CANTÓN IBARRA, BASADO EN COBIT 2019"
AUTOR (ES):	QUILUMBA CAMPUES ERICK ANDRES
FECHA: DD/MM/AAAA	28/08/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** □ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
DIRECTOR /ASESOR:	ING. CARLOS ALBERTO VASQUEZ AYALA, MSC ING. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN, MSC

1. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 28 días del mes de agosto de 2026

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
ERICK ANDRES
QUILUMBA CAMPUES

(Firma).....
Erick Andres Quilumba Campues

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIUERIA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 28 de agosto de 2026

ING. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA, MSC DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
CARLOS ALBERTO VASQUEZ AYALA

f) ……

Ing. Carlos Alberto Vásquez Ayala, Msc
C.C.: 1002424982

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por acompañarme en cada etapa de este camino, darme fortaleza en los momentos difíciles y permitirme alcanzar una meta que durante mucho tiempo fue un sueño.

A mi madre, Leonor, porque si este logro fue uno de mis sueños, sé que para ella lo fue el doble. Su amor, esfuerzo y confianza han sido una motivación constante para seguir adelante. A mi padre, Ricardo, por su cariño, sus enseñanzas y por estar presente a lo largo de mi vida, aportando con su ejemplo a la persona que hoy soy.

A mi hermano Marcelo, por ser mucho más que un hermano: una figura paterna, mi mejor amigo y una de las personas en quienes siempre he podido confiar. Su apoyo, sus consejos y su manera de estar presente cuando más lo he necesitado han sido fundamentales en mi vida. A mis hermanos Fanny, Maribel y Augusto, por su cariño, compañía y por formar parte esencial de cada etapa de mi camino.

A mis cuñados Aníbal y Jorge, por su apoyo y cercanía; a mis tíos Olga y Jairon, por su cariño y respaldo constante; y a mis primas Melany, Karla y Mari, por el afecto y los momentos compartidos.

A Alisson, por acompañarme durante esta etapa, por su apoyo y por permanecer a mi lado en los momentos de esfuerzo, dificultad y alegría que formaron parte de este proceso.

A toda mi familia, porque este logro también lleva una parte del amor, las enseñanzas y el apoyo que recibí de cada uno de ustedes.

Erick Andres Quilumba Campues

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza para continuar, por guiarme durante este proceso y por permitirme culminar una etapa tan importante de mi vida.

A mi familia, por ser mi principal apoyo durante todos estos años. A mi madre, Leonor, por creer siempre en mí y acompañarme con su amor y esfuerzo; a mi padre, Ricardo, por su cariño, enseñanzas y respaldo; y a mis hermanos Marcelo, Fanny, Maribel y Augusto, por estar presentes y motivarme a seguir adelante.

A mis cuñados Aníbal y Jorge, a mis tíos Olga y Jairon, y a mis primas Melany, Karla y Mari, por su cariño, sus palabras de ánimo y por acompañarme de distintas maneras a lo largo de este camino.

A Alisson, por su compañía, paciencia y apoyo constante durante esta etapa, y por compartir conmigo tanto los momentos difíciles como la satisfacción de ver este objetivo cada vez más cerca.

A mis amigos Juan Diego, Cristian, Diego Widin y Estefany, por su amistad, las experiencias compartidas y por hacer más llevadero y especial el camino universitario.

Expreso mi agradecimiento al Ing. Carlos Alberto Vásquez Ayala, MSc., director de este trabajo de titulación, por su orientación y acompañamiento durante el desarrollo del proyecto. De igual manera, agradezco al Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MSc., por sus observaciones, recomendaciones y aportes académicos durante este proceso.

A la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, a la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y a los docentes que contribuyeron a mi formación profesional, por los conocimientos y experiencias adquiridos durante estos años.

Finalmente, agradezco a todas las personas que formaron parte de este camino y que, con una palabra o una muestra de apoyo, contribuyeron a que este sueño hoy se convierta en realidad.

Erick Andres Quilumba Campues

RESUMEN

El presente trabajo de titulación aborda la gestión de evidencias fotográficas generadas durante la instalación de medidores de agua potable realizada por un contratista en el cantón Ibarra. El procedimiento previo dependía de la recepción, identificación y organización manual de fotografías, lo que dificultaba su asociación con cada trámite, la identificación de registros incompletos y la preparación posterior de reportes. Con el propósito de estructurar este proceso se desarrolló AquaTrace, un sistema móvil basado en criterios derivados de COBIT 2019. El desarrollo siguió una metodología en cascada de cuatro fases, a partir de la cual se definieron los requerimientos, la arquitectura, el modelo de datos y los mecanismos de control y trazabilidad. La solución se implementó mediante Flutter y servicios de Firebase, incorporando perfiles de conductor y administrador, registro de las fotografías Antes, Durante y Después, estados Pendiente y Completado, actualización de trámites previamente disponibles bajo conectividad limitada, consulta administrativa, generación de documentos PDF y registro de eventos de auditoría. La validación comprendió pruebas funcionales, de integración, verificaciones técnicas, mediciones de eficiencia y observación de facilidad de uso. La búsqueda y apertura de un trámite obtuvo un tiempo promedio de 14,67 s, mientras que la generación de un reporte consolidado con 101 trámites presentó un promedio de 61,67 s, sin errores durante las repeticiones realizadas. Las tareas observadas fueron completadas por los perfiles evaluados, aunque en algunas se requirió orientación inicial para localizar determinadas pantallas. Los resultados permitieron verificar el funcionamiento del sistema y la trazabilidad de los requerimientos dentro de las condiciones evaluadas.

Palabras clave: evidencias fotográficas, medidores de agua potable, aplicación móvil, Flutter, Firebase, COBIT 2019, trazabilidad.

ABSTRACT

This degree project addresses the management of photographic evidence generated during water meter installations carried out by an independent contractor in Ibarra, Ecuador. The previous procedure relied on the manual reception, identification, and organization of photographs, making it difficult to associate them with each case, identify incomplete records, and subsequently prepare reports. To structure this process, AquaTrace was developed as a mobile system based on criteria derived from COBIT 2019. The system was developed using a four-phase waterfall methodology, through which the requirements, architecture, data model, and control and traceability mechanisms were defined. The solution was implemented using Flutter and Firebase services and includes driver and administrator profiles, recording of Before, During, and After photographs, Pending and Completed states, updates to previously available cases under limited connectivity, administrative consultation, PDF document generation, and audit event recording. Validation included functional and integration tests, technical verifications, efficiency measurements, and ease-of-use observation. Searching for and opening a case required an average of 14.67 s, while generating a consolidated report containing 101 cases required an average of 61.67 s, with no errors during the repetitions performed. The observed tasks were completed by both evaluated user profiles, although initial guidance was required in some cases to locate specific screens. The results verified system operation and requirement traceability under the evaluated conditions.

Keywords: photographic evidence, water meters, mobile application, Flutter, Firebase, COBIT 2019, traceability.

LISTA DE CONTENIDOS

1. Capítulo I: Antecedentes 19

1.1 Tema 19

1.2 Problema 19

1.3 Objetivos 21

1.3.1. Objetivo General 21

1.3.2. Objetivos Específicos 21

1.4 Alcance 22

1.5 Justificación 24

2. Capítulo II: Fundamentos Teóricos 28

2.1 Servicio de agua potable 28

2.1.1. Sistema urbano de abastecimiento de agua potable 29

2.1.2. Medidores de agua potable domiciliarios 30

2.1.3. Proceso de instalación de medidores 31

2.1.4. Registro documental de instalaciones 32

2.2 Evidencias fotográficas en procesos técnicos 33

2.2.1. Fotografía digital 34

2.2.2. Metadatos en imágenes digitales 35

2.2.3. Gestión de evidencias fotográficas digitales 37

2.2.4. Almacenamiento de evidencias fotográficas 38

2.2.5. Herramientas tecnológicas para la gestión de evidencias fotográficas 39

2.3 Gobernanza de la información y la tecnología (I&T) 41

2.3.1. Diferencia entre gobernanza y gestión de la información y la tecnología ... 42

2.3.2. Marco de referencia COBIT 2019 43

2.3.3. Objetivos y prácticas de COBIT 2019 seleccionados 45

2.3.4. Gestión de identidades, control de acceso y trazabilidad 50

2.4 Plataforma móvil y condiciones de conectividad 52

2.4.1. Dispositivo móvil 52

2.4.2. Conectividad inalámbrica 53

2.5 Tecnologías y servicios de software 53

2.5.1. Plataforma móvil Android 54

2.5.2. Lenguaje de programación Dart 54

2.5.3. Framework Flutter 55

2.5.4. Firebase como plataforma de servicios administrados 56

2.5.5. Firebase Authentication 57

2.5.6. Bases de datos documentales NoSQL 57

2.5.7. Cloud Firestore y almacenamiento binario de evidencias 58

2.5.8. Sincronización y persistencia local 59

2.5.9. Formato PDF para reportes 60

2.6 Metodología de desarrollo en cascada 60

3. Capítulo III: Diseño del sistema 62

3.1 Metodología de diseño 62

3.2 Análisis del entorno actual 66

3.2.1. Situación actual del registro de evidencias 66

3.2.2. Levantamiento y análisis de información mediante encuestas 70

3.3 Requerimientos del sistema 74

3.3.1. Nomenclatura de requerimientos 74

3.3.2. Identificación de stakeholders 76

3.3.3. Requerimientos de los stakeholders 77

3.3.4. Requerimientos funcionales del sistema 80

3.3.5. Requerimientos técnicos y de arquitectura 84

3.3.6. Trazabilidad y cobertura de los requerimientos 87

3.4 Criterios de diseño derivados de COBIT 2019 90

3.5 Especificación técnica del sistema 92

3.5.1. Selección y justificación tecnológica 92

3.5.2. Arquitectura general 99

3.5.3. Módulo de presentación e interfaces 106

3.5.4. Módulo de procesamiento y lógica en el cliente 109

3.5.5. Módulo de integración con servicios administrados de Firebase 125

3.5.6. Módulo de generación y salida documental 151

3.5.7. Aplicación transversal de criterios derivados de COBIT 2019 156

3.5.8. Planificación de la validación y trazabilidad técnica 158

3.5.9. Síntesis del diseño 164

4. Capítulo IV: Implementación y Resultados 166

4.1 Implementación del sistema 166

4.1.1. Autenticación y gestión de cuentas 168

4.1.2. Módulo del conductor 183

4.1.3. Módulo administrativo 193

4.1.4. Persistencia, sincronización y auditoría 196

4.2 Validación y resultados 203

4.2.1. Plan y condiciones de prueba 204

4.2.2. Resultados de las pruebas funcionales 208

4.2.3. Resultados de las pruebas de integración 212

4.2.4. Verificaciones técnicas 214

4.2.5. Resultados de eficiencia y facilidad de uso 216

4.2.6. Cierre de trazabilidad de requerimientos y COBIT 2019 221

4.2.7. Análisis global de resultados 225

Conclusiones y Recomendaciones 227

Conclusiones 227

Recomendaciones 230

Anexos 239

Anexo A 239

Anexo B 241

Anexo C 244

Anexo D 246

Anexo E 258

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Relación entre etapas del proceso de instalación y evidencia fotográfica* 32

Tabla 2 *Enfoques tecnológicos para la gestión de evidencias fotográficas* 40

Tabla 3 *Objetivos y prácticas de COBIT 2019 seleccionados para el ciclo de vida y los criterios de control del sistema* 47

Tabla 4 *Aplicación de las fases metodológicas al proyecto* 65

Tabla 5 *Instrumentos aplicados y aspectos examinados* 71

Tabla 6 *Hallazgos del procedimiento actual e implicaciones para la formulación de requerimientos* 72

Tabla 7 *Nomenclatura utilizada para los requerimientos* 75

Tabla 8 *Stakeholders vinculados con el sistema y el proyecto académico* 76

Tabla 9 *Requerimientos de los stakeholders* 78

Tabla 10 *Requerimientos funcionales del sistema* 81

Tabla 11 *Requerimientos técnicos y de arquitectura del sistema* 85

Tabla 12 *Trazabilidad de los requerimientos de los stakeholders* 88

Tabla 13 *Prácticas de gestión seleccionadas y criterios específicos de control derivados* 91

Tabla 14 *Selección del framework de desarrollo móvil* 94

Tabla 15 *Selección del backend y los servicios administrados* 95

Tabla 16 *Decisiones sobre la base de datos y el almacenamiento de evidencias* 97

Tabla 17 *Tecnologías, paquetes y mecanismos principales del sistema* 98

Tabla 18 *Componentes funcionales de la arquitectura* 103

Tabla 19 *Aplicación de COBIT 2019 en el módulo de presentación e interfaces* 107

Tabla 20 *Aplicación de COBIT 2019 en el módulo de procesamiento y lógica en el cliente* 110

Tabla 21 *Aplicación de COBIT 2019 en el módulo de integración con servicios administrados de Firebase* 125

Tabla 22 *Diccionario de datos de la colección usuarios* 134

Tabla 23 *Diccionario de datos de la colección tramites* 135

Tabla 24 *Diccionario de datos de la colección auditoria* 137

Tabla 25 *Matriz de operaciones por interfaz, lógica del cliente y regla del servidor* ... 140

Tabla 26 *Grupos de eventos de la bitácora y prácticas COBIT relacionadas* 145

Tabla 27 *Aplicación de COBIT 2019 en el módulo de generación y salida documental* 151

Tabla 28 *Correspondencia entre los criterios derivados de COBIT 2019, los requerimientos y los módulos del sistema* 156

Tabla 29 *Matriz individual de trazabilidad técnica y planificación de la validación* ... 160

Tabla 30 *Configuración tecnológica utilizada en la implementación* 167

Tabla 31 *Plan de validación ejecutado* 204

Tabla 32 *Resumen de resultados funcionales* 208

Tabla 33 *Resultados de las pruebas de integración* 213

Tabla 34 *Resultados de las verificaciones técnicas* 214

Tabla 35 *Medición E-01: búsqueda y apertura de un trámite* 217

Tabla 36 *Medición E-02: generación y presentación del reporte consolidado* 218

Tabla 37 *Observación de la facilidad de uso* 219

Tabla 38 *Cierre de trazabilidad de los requerimientos del sistema* 222

Tabla 39 *Correspondencia entre los objetivos específicos y los resultados del Capítulo IV* 224

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Árbol de problemas* 21

Figura 2 *Arquitectura Genérica del Sistema* 23

Figura 3 *Clasificación de los metadatos asociados a una evidencia fotográfica* 36

Figura 4 *Dominios de gobierno y gestión de COBIT 2019* 44

Figura 5 *Modelo en cascada aplicado al desarrollo del sistema* 64

Figura 6 *Flujograma del procedimiento manual de registro y organización de evidencias* 68

Figura 7 *Flujo no lineal del registro de evidencias en campo* 69

Figura 8 *Arquitectura del sistema* 101

Figura 9 *Diagrama de bloques funcionales del sistema* 102

Figura 10 *Flujo general de gestión de evidencias por carriles* 106

Figura 11 *Flujograma de registro y actualización de evidencias con conectividad* 113

Figura 12 *Flujograma de actualización y sincronización de trámites Pendientes* 115

Figura 13 *Flujograma de cálculo del estado del trámite* 116

Figura 14 *Diagrama de secuencia de sincronización y confirmación remota del estado Completado* 118

Figura 15 *Flujograma de conectividad, caché y sincronización diferida* 120

Figura 16 *Flujograma de consulta administrativa mediante filtros combinados* 121

Figura 17 *Flujograma de renombrado administrativo del trámite* 123

Figura 18 *Flujograma de eliminación administrativa del trámite* 124

Figura 19 *Flujograma del proceso de creación de cuentas de usuario* 128

Figura 20 *Flujograma de autenticación y control de acceso* 130

Figura 21 *Flujograma de cambio obligatorio de contraseña* 132

Figura 22 *Modelo lógico de colecciones y referencias de AquaTrace* 133

Figura 23 *Ciclo de registro y consulta de auditoría* 144

Figura 24 *Flujograma del procedimiento administrativo de recuperación de contraseña* 150

Figura 25 *Flujograma de generación de PDF individual* 153

Figura 26 *Flujograma de generación de reporte consolidado* 155

Figura 27 *Pantalla de inicio de sesión de AquaTrace* 169

Figura 28 *Rechazo de credenciales no válidas* 170

Figura 29 *Acceso al módulo administrativo* 171

Figura 30 *Formulario administrativo para crear una cuenta de conductor* 172

Figura 31 *Cambio obligatorio de la contraseña temporal* 173

Figura 32 *Acceso al módulo del conductor* 174

Figura 33 Edición del perfil propio 176

Figura 34 *Selección del rol administrativo durante el alta de una cuenta* 177

Figura 35 *Confirmación para suspender una cuenta* 178

Figura 36 *Revocación de una sesión activa* 179

Figura 37 *Ayuda integrada para el perfil del conductor* 180

Figura 38 *Indicaciones de uso ante conectividad limitada* 181

Figura 39 *Control de estado, cambio obligatorio y enrutamiento por rol* 182

Figura 40 *Validación del número requerido* 183

Figura 41 *Confirmación de disponibilidad del número de trámite* 184

Figura 42 *Registro inicial con una evidencia fotográfica* 185

Figura 43 *Confirmación de guardado de un trámite Pendiente* 186

Figura 44 *Trámite Pendiente disponible en el listado del conductor* 187

Figura 45 *Recuperación de un trámite Pendiente para edición* 188

Figura 46 *Actualización de un Pendiente con dos evidencias* 189

Figura 47 *Confirmación de cambios en un trámite Pendiente* 190

Figura 48 *Prevención de una creación duplicada* 191

Figura 49 *Cálculo del estado y almacenamiento de fotografías como Blob* 192

Figura 50 *Trámites Completados sin flujo de edición para el conductor* 193

Figura 51 *Construcción de la consulta administrativa con filtros* 194

Figura 52 *Construcción del reporte consolidado fuera del hilo principal* 196

Figura 53 *Trámite Pendiente disponible con conectividad* 197

Figura 54 *Interfaz del conductor sin conectividad* 198

Figura 55 *Escritura local pendiente de sincronización* 199

Figura 56 *Comprobación de la confirmación del servidor* 200

Figura 57 *Confirmación posterior a la sincronización* 201

Figura 58 *Estado Completado después de la confirmación del servidor* 202

Figura 59 *Estructura de almacenamiento de los eventos de auditoría* 203

Figura 60 *Eventos representativos consultados en la bitácora administrativa* 211

Figura 61 *Estructura persistida de un evento de auditoría en Cloud Firestore* 212

Figura 62 *Tiempo observado en la búsqueda y apertura de un trámite* 217

Figura 63 *Tiempo observado en la generación del reporte consolidado de 101 trámites* 219

Capítulo I: Antecedentes

1.1 Tema

Sistema para la gestión de evidencias fotográficas de instalaciones de medidores de agua potable en el cantón Ibarra, basado en COBIT 2019.

1.2 Problema

En el cantón Ibarra, un contratista independiente se encarga de prestar servicios continuos de instalación de medidores de agua potable y conexiones domiciliarias bajo la supervisión de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I). Esta entidad regula estrictamente los lineamientos técnicos y administrativos que deben cumplir los contratistas, incluyendo la planificación eficiente del trabajo diario, el registro fotográfico de las instalaciones y la entrega oportuna de reportes detallados de ejecución.

Actualmente, el contratista supervisa cada orden de trabajo realizada por su personal operativo y debe tomar al menos tres fotografías por trámite: del predio, del estado antes de la instalación y del estado posterior a la misma. Sin embargo, este proceso se realiza mediante el uso de aplicaciones de mensajería como WhatsApp, que no están diseñadas para la gestión adecuada de evidencias gráficas. Los conductores toman las fotografías y las envían junto con el número de trámite a grupos de WhatsApp, pero con frecuencia las imágenes no se cargan correctamente, se envían en diferente orden o incluso se eliminan prematuramente por cuestiones de almacenamiento en los dispositivos.

Estas deficiencias generan problemas significativos en la consolidación y organización de la información. La persona encargada de generar los reportes debe descargar una por una las imágenes, organizar manualmente cada conjunto de fotografías según el número de trámite, y luego insertarlas en documentos Word para finalmente generar reportes en PDF. Dado que

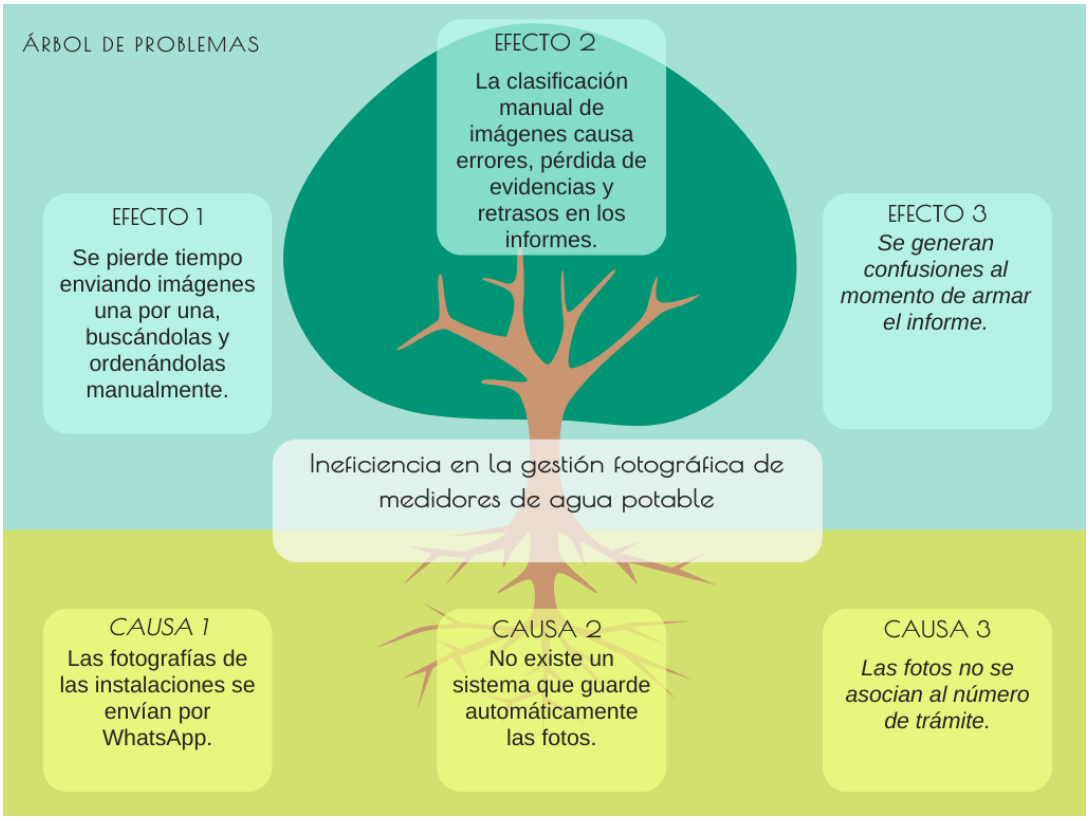
diariamente se realizan entre 8 y 15 trámites, la cantidad de fotografías es considerable, haciendo que el proceso sea lento, propenso a errores, y con alta probabilidad de pérdida de información crítica. Además, los dispositivos móviles y computadoras del personal se saturan por el almacenamiento excesivo de fotos, dificultando aún más el manejo eficiente de los datos.

Desde la perspectiva del marco de gobernanza COBIT® 2019, estas limitaciones reflejan deficiencias en la gestión de la información y tecnología del contratista, evidenciando la ausencia de procesos automatizados que garanticen la integridad, disponibilidad y calidad de los datos, así como la falta de controles que optimicen la eficiencia operativa y reduzcan riesgos asociados a la pérdida de información (ISACA, 2018a). La carencia de un sistema tecnológico adecuado afecta la capacidad del contratista para cumplir con los requisitos contractuales y compromete la trazabilidad y confiabilidad de los reportes entregados a EMAPA-I.

Por ello, se propone el desarrollo de un sistema que consta de dos aplicaciones móviles: una para la captura, clasificación y almacenamiento ordenado de las evidencias gráficas, y otra para la administración, que permita descargar informes detallados organizados por número de trámite. Esta solución tecnológica busca reducir significativamente el tiempo de realización de los informes, asegurar el respaldo y conservación adecuada de las evidencias fotográficas, y evitar la saturación de almacenamiento en dispositivos móviles y computadoras. Así, se fortalecerá la gobernanza y gestión de la información del contratista, alineándose con las mejores prácticas internacionales establecidas en COBIT® 2019, mejorando la eficiencia operativa y minimizando riesgos asociados a la gestión manual y desorganizada de datos. La Figura 1 ilustra de manera general los elementos que intervienen en este problema y las consecuencias que genera en el flujo de trabajo actual.

Figura 1

Árbol de problemas



Nota. Autoría propia.

1.3 Objetivos

1.3.1. *Objetivo General*

Diseñar un sistema de registro y organización automatizada de evidencias fotográficas para los trámites de instalación de medidores de agua potable, que garantice una gestión eficiente de la información, alineada con el marco de gobernanza COBIT 2019, para optimizar los procesos operativos en el cantón Ibarra.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Realizar un estudio de herramientas tecnológicas utilizadas en la gestión de fotografías digitales, enfocado en aplicaciones móviles aplicables al proceso operativo del contratista.

- Establecer los requerimientos de software y diseñar la arquitectura del sistema para la gestión de evidencias fotográficas, considerando su funcionamiento en dispositivos móviles y la necesidad de trazabilidad y organización documental.
- Desarrollar un sistema para el registro, clasificación y almacenamiento de fotografías asociadas a cada trámite, garantizando la integridad, calidad y trazabilidad de la información, y alineando el sistema con los principios de gobernanza de COBIT 2019 para optimizar la eficiencia operativa y la fiabilidad de los reportes.
- Evaluar el desempeño y la funcionalidad del sistema en un entorno de prueba con el personal del contratista, midiendo su eficiencia y facilidad de uso.

1.4 Alcance

El proyecto tiene como propósito diseñar un sistema para la gestión automatizada de fotografías generadas durante los trámites de instalación de medidores de agua potable, ejecutados por un contratista en el cantón Ibarra. La solución se centrará en la captura, organización y almacenamiento estructurado de las imágenes tomadas antes, durante y después de cada instalación, mejorando el control documental del proceso y optimizando el flujo de información entre el personal operativo y quienes supervisan la documentación.

El sistema contemplará el uso de dispositivos móviles conectados a internet, permitiendo el registro de evidencias fotográficas desde el lugar de ejecución y su posterior consulta a través de una interfaz administrativa. Cada trámite contará con un identificador único que vinculará automáticamente las imágenes al proceso correspondiente, facilitando la trazabilidad, reduciendo el riesgo de pérdida de datos y eliminando tareas manuales que actualmente generan errores, confusión y sobrecarga operativa.

El desarrollo del sistema se realizará en cuatro fases, siguiendo la metodología en cascada, un enfoque secuencial que avanza desde la especificación de requisitos hasta la implementación final, adecuado para proyectos con requerimientos bien definidos y estables (Pressman, 2010).

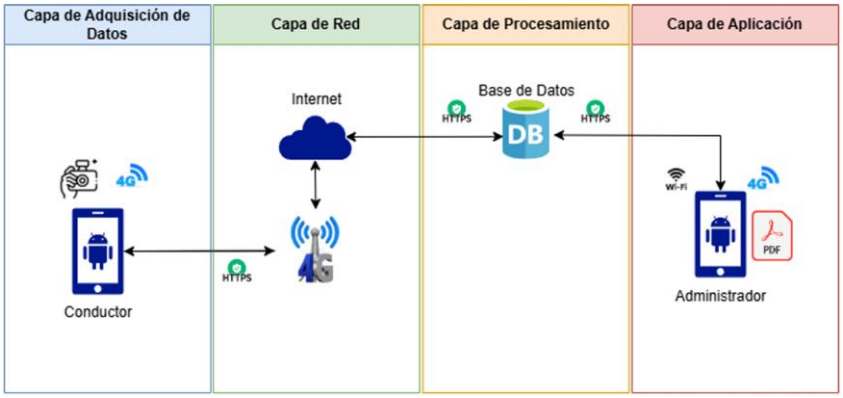
En la primera fase, se investigarán y documentarán las tecnologías actuales empleadas para la gestión digital de fotografías. Esto permitirá identificar buenas prácticas y soluciones aplicables al proyecto, sirviendo como base para el diseño del sistema.

La segunda fase, correspondiente al diseño, consistirá en desarrollar una arquitectura lógica que integre las funcionalidades de captura, clasificación y almacenamiento de imágenes. Se definirán los roles de usuario, las interfaces necesarias, el flujo de datos y los mecanismos para controlar el estado de cada trámite. Además, se establecerán las condiciones operativas relacionadas con conectividad y acceso desde dispositivos móviles.

A continuación, se presenta la Figura 2, donde se muestra la arquitectura genérica del sistema, detallando las interacciones entre los componentes de software y cómo se llevará a cabo la integración de las diferentes partes del sistema en los dispositivos móviles utilizados para la implementación.

Figura 2

Arquitectura Genérica del Sistema



Nota. Autoría propia.

La tercera fase contempla la implementación del sistema, en la cual se desarrollará la solución con las características necesarias para registrar, organizar y almacenar las imágenes asociadas a cada trámite, permitiendo su visualización por parte del administrador. El sistema será probado en un entorno controlado para validar su funcionamiento, asegurando el cumplimiento de los requerimientos definidos y su alineación con los principios de gobernanza de COBIT 2019, especialmente en términos de integridad, calidad y trazabilidad de la información.

Finalmente, en la fase de pruebas, el sistema será utilizado por el personal del contratista en condiciones operativas reales. Se evaluará su desempeño, facilidad de uso, organización de la información y la mejora en la generación de reportes. Con base en los resultados, se determinarán los ajustes finales necesarios para garantizar su viabilidad como solución para la documentación fotográfica de los trámites realizados en campo.

1.5 Justificación

En América Latina, la transformación digital se ha convertido en un eje prioritario para mejorar la eficiencia de las organizaciones. El evento Innova T LATAM 2024 subraya la necesidad de integrar tecnologías que ayuden a automatizar tareas, reducir errores y facilitar la gestión de datos en distintos sectores. Se destaca que el uso de herramientas digitales, como sistemas de automatización e inteligencia artificial, puede aportar a una operación más eficiente y segura, con menor dependencia de procedimientos manuales. Además, se reconoce que las tecnologías emergentes tienen el potencial de transformar procesos administrativos complejos en sistemas ágiles y sostenibles (Innova T LATAM, 2024).

En Ecuador, la Agenda de Transformación Digital 2022–2025 establece digitalizar el 85% de los trámites públicos para 2025, señalando que digitalizar no solo es cambiar herramientas, sino transformar cómo se organiza y maneja la información, especialmente para controlar y dar

seguimiento a los procesos (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2022). Los sistemas de información son clave en esto, pues integran tecnologías que ayudan a recopilar, procesar y organizar datos importantes para mejorar la supervisión, el control y la toma de decisiones (Laudon & Laudon, 2016). Además, el Plan de Creación de Oportunidades 2021–2025 resalta la necesidad de contar con tecnologías que permitan monitorear y controlar en tiempo real los procesos administrativos, tanto en las instituciones públicas como en los contratistas externos (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

En el ámbito empresarial ecuatoriano, el informe EY & ITahora 2024 muestra que el 74,69% de las organizaciones considera que la eficiencia operativa es el principal beneficio esperado de sus proyectos tecnológicos. Sin embargo, áreas como logística y operaciones mantienen bajos niveles de automatización, entre el 22% y el 35%, lo que representa una oportunidad para incorporar soluciones que optimicen la gestión de datos, reduzcan tiempos y mejoren la toma de decisiones. La adopción de herramientas como la automatización robótica de procesos (RPA), almacenamiento en la nube y sistemas de gestión de procesos aún es limitada en gran parte de las empresas (EY & ITahora, 2024). Estas tendencias se mantienen en el informe de 2025, donde se indica que el 68,13% de las empresas ya reconoce resultados positivos en eficiencia gracias a la tecnología, aunque se identifican obstáculos como presupuestos ajustados y la falta de soluciones adaptadas a la realidad local (EY & ITahora, 2025).

Esta investigación busca mejorar el proceso manual y fragmentado que actualmente usa el contratista para registrar evidencias fotográficas en la instalación de medidores de agua potable en el cantón Ibarra. El uso de aplicaciones de mensajería para enviar imágenes y organizarlas en documentos genera pérdida de información, duplicación de trabajo y uso ineficiente del tiempo, lo que afecta la calidad y la confiabilidad del registro. Por eso, es necesario un sistema automatizado

que capture, clasifique y almacene estas evidencias de forma ordenada, garantizando trazabilidad y eficiencia.

Desde una perspectiva técnica, el desarrollo de una solución digital basada en tecnologías móviles y almacenamiento en la nube es viable y pertinente. Estudios como los de Díaz et al. (2014) destacan que el almacenamiento en la nube facilita el acceso remoto, la disponibilidad permanente y la centralización de la información, ventajas fundamentales para procesos que requieren movilidad y respuesta inmediata. Esto permitirá que los datos se registren directamente desde el lugar de ejecución, sin necesidad de equipos sofisticados ni procesos adicionales. Asimismo, Ortiz-Clavijo et al. (2018) señalan que la aplicación de herramientas digitales en la industria permite automatizar tareas rutinarias, reducir la carga operativa y mejorar la gestión de datos, lo cual aplica al caso del contratista.

El diseño del sistema incluye principios de usabilidad y adaptabilidad para asegurar que las aplicaciones tengan interfaces claras y procesos simples que eviten errores, especialmente para usuarios que trabajan en diferentes condiciones (Vittone & Cuello, 2013). Además, se seleccionaron frameworks multiplataforma para optimizar el rendimiento y facilitar el desarrollo (Bravo Rivera, 2021).

Esta propuesta también contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible 9, que promueve la innovación y el desarrollo tecnológico para aumentar la productividad y sostenibilidad, fortaleciendo una infraestructura ágil, segura y transparente, alineada con la inclusión digital (Organización de las Naciones Unidas, s. f.).

Finalmente, este proyecto ofrece una solución tecnológica integral que aborda un problema real, considerando desde el diseño de la arquitectura funcional hasta la evaluación del sistema en entornos operativos reales. Al integrar tecnologías móviles y servicios en la nube, optimiza la

transmisión, almacenamiento y gestión segura de datos en redes de comunicación, garantizando un diseño centrado en el usuario para facilitar la interacción y accesibilidad remota. Esta iniciativa representa una innovación escalable y alineada con los marcos nacionales e internacionales de planificación digital y transformación tecnológica. Además, la incorporación del marco COBIT® 2019 asegura que la gestión de la información y la tecnología se realice bajo las mejores prácticas internacionales, fortaleciendo la gobernanza, seguridad y eficiencia del sistema.

Capítulo II: Fundamentos Teóricos

El presente capítulo desarrolla los fundamentos teóricos necesarios para comprender los elementos operativos, documentales y tecnológicos relacionados con la gestión de evidencias fotográficas de instalaciones de medidores de agua potable. Se revisan la prestación del servicio, la micromedición domiciliaria, el registro de las actividades ejecutadas en campo y el valor documental de la fotografía digital. El estudio comprende los metadatos, la organización, el almacenamiento y la recuperación de la información.

El capítulo aborda los principios de gobernanza de la información y la tecnología y los elementos de COBIT 2019 relacionados con la definición y trazabilidad de los requerimientos, el diseño y la construcción de la solución, la preparación y ejecución de pruebas y los criterios de identidad, acceso, procesamiento, autoridad y trazabilidad. Se describen la plataforma móvil, las condiciones de conectividad y las tecnologías de software que sustentan la solución. El capítulo finaliza con los fundamentos de la metodología en cascada empleada para organizar las cuatro fases establecidas en el alcance del proyecto.

2.1 Servicio de agua potable

El servicio de agua potable comprende las actividades y la infraestructura necesarias para suministrar agua apta para el consumo humano. Desde la perspectiva sanitaria, la seguridad del agua depende de que su consumo no represente exposición a microorganismos patógenos ni a concentraciones peligrosas de sustancias químicas (World Health Organization, 2022). Por esta razón, la calidad, disponibilidad y continuidad del suministro constituyen condiciones esenciales para proteger la salud de la población y sostener las actividades domésticas básicas.

El seguimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 permite evaluar los avances relacionados con el acceso universal y equitativo al agua potable. Para este propósito se consideran

aspectos como la procedencia del suministro, su disponibilidad, la accesibilidad desde el predio y la ausencia de contaminación prioritaria. Los resultados del Programa Conjunto de Monitoreo de la Organización Mundial de la Salud y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia muestran que todavía existen diferencias entre las zonas urbanas y rurales en cuanto al acceso y las condiciones de prestación del servicio (World Health Organization & UNICEF, 2023).

En Ecuador, la prestación del servicio se encuentra regulada por la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014) y por las disposiciones emitidas por la Agencia de Regulación y Control del Agua. La Regulación DIR-ARCA-RG-003-2016 establece indicadores para evaluar la calidad y la eficiencia de los prestadores, mientras que la Regulación DIR-ARCA-RG-011-2022 incorpora lineamientos relacionados con la micromedición, el balance hídrico y el uso eficiente del recurso (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2016, 2022).

En el cantón Ibarra, la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I) se encarga de la prestación del servicio. Dentro del proceso analizado, las instalaciones domiciliarias ejecutadas por el personal del contratista generan información técnica y evidencias que deben organizarse para la revisión administrativa. La medición domiciliaria y el registro documental de las intervenciones constituyen elementos relevantes para mantener información verificable sobre los trabajos realizados.

2.1.1. *Sistema urbano de abastecimiento de agua potable*

El sistema urbano de abastecimiento de agua potable comprende las instalaciones y operaciones destinadas a conducir el agua desde las fuentes de captación hasta los puntos de consumo. Su funcionamiento integra las etapas de captación, tratamiento, almacenamiento, conducción y distribución mediante redes que abastecen las conexiones domiciliarias.

La evaluación de estos servicios considera parámetros e indicadores relacionados con la gestión, las condiciones operativas y la calidad de la prestación (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2016).

Las conexiones domiciliarias enlazan la red de distribución con los inmuebles atendidos por el prestador. En cada conexión residencial puede instalarse un aparato de micromedición destinado a registrar el volumen de agua consumido. La información obtenida permite conocer los consumos asociados a cada conexión y aporta datos para la facturación, el control de pérdidas y la elaboración del balance hídrico (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2022).

Para el proceso analizado, el punto de interés se ubica en la conexión domiciliaria y en la instalación del medidor. Cada intervención debe vincularse con el trámite correspondiente para conservar información organizada sobre el trabajo realizado y facilitar su revisión posterior.

2.1.2. *Medidores de agua potable domiciliarios*

Los medidores de agua potable domiciliarios son instrumentos destinados a determinar el volumen acumulado que circula por una conducción cerrada. La regulación ecuatoriana denomina aparatos de micromedición a los sistemas instalados en las conexiones residenciales y no residenciales para conocer el volumen de agua consumido en cada una de ellas. La obtención y el registro de los datos generados por estos equipos son responsabilidad del prestador del servicio (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2022).

La norma ISO 4064-1:2024 establece los requisitos metrológicos y técnicos aplicables a los medidores de agua potable fría y caliente. Su alcance comprende equipos basados en principios mecánicos, eléctricos o electrónicos, siempre que permitan indicar el volumen acumulado que atraviesa el instrumento (International Organization for Standardization, 2024).

El medidor domiciliario constituye el elemento físico sobre el cual se realiza la intervención del personal del contratista. El registro documental de su instalación conserva información sobre el trabajo ejecutado y permite asociarla con el trámite correspondiente, sin sustituir la medición del consumo efectuada por el equipo.

2.1.3. *Proceso de instalación de medidores*

La instalación de un medidor domiciliario comprende la preparación del punto de conexión, el montaje del equipo y la comprobación inicial de su funcionamiento. La norma ISO 4064-5:2025 reúne criterios relacionados con la selección del medidor, los accesorios asociados, la instalación y la primera operación de equipos nuevos o reparados, con el propósito de favorecer una medición y lectura confiables (International Organization for Standardization, 2025).

En Ecuador, la Regulación DIR-ARCA-RG-011-2022 dispone la instalación de aparatos de micromedición en las conexiones residenciales y no residenciales. La misma regulación establece que el prestador debe definir las características de estos sistemas y seleccionar los equipos que se ajusten a sus condiciones operativas, considerando las guías técnicas emitidas por la Agencia de Regulación y Control del Agua (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2022).

Para organizar el registro documental, la intervención puede dividirse en tres momentos. La etapa previa muestra las condiciones existentes antes de iniciar el trabajo; la etapa de ejecución documenta la instalación del equipo; y la etapa posterior registra el medidor instalado y el estado final del área intervenida. Esta división no sustituye el procedimiento técnico de instalación, sino que ordena las evidencias generadas durante el trabajo.

La Tabla 1 presenta la relación entre cada etapa y la finalidad documental de la fotografía.

Tabla 1

Relación entre etapas del proceso de instalación y evidencia fotográfica

Etapa	Descripción de la evidencia	Finalidad documental
Antes	Estado previo del predio y del punto de conexión	Registrar la condición inicial de la acometida
Durante	Actividad técnica de instalación en ejecución	Documentar el trabajo realizado durante la instalación
Después	Medidor instalado y estado final del área intervenida	Apoyar la revisión del resultado final de la intervención

Nota. Elaboración propia.

Las fotografías permiten conservar un respaldo visual de los tres momentos, pero no certifican por sí solas el cumplimiento técnico de la instalación. Su utilidad documental depende de que permanezcan vinculadas con el número de trámite y con el responsable del registro, aspectos desarrollados en el apartado siguiente.

2.1.4. *Registro documental de instalaciones*

El registro documental de una instalación reúne la información necesaria para identificar la intervención ejecutada, el personal responsable y las condiciones observadas durante el trabajo. La norma ISO 9001:2015 establece que la información documentada debe conservarse cuando sea necesaria para apoyar la operación de los procesos y demostrar que las actividades se realizaron según lo previsto (International Organization for Standardization, 2015).

En los procesos de micromedición, los datos asociados a las conexiones y a los equipos instalados forman parte de la información utilizada para el control del servicio y la elaboración del

balance hídrico. La utilidad del registro depende de que los datos permanezcan completos, organizados y vinculados con la intervención a la que pertenecen.

Para las instalaciones ejecutadas por el personal del contratista, el número de trámite proporciona una referencia común entre el trabajo realizado y las fotografías obtenidas antes, durante y después. Esta asociación facilita la identificación del conductor responsable y la consulta posterior de las evidencias por parte del personal administrativo. El registro documental organiza la información de la intervención, pero no certifica por sí mismo el cumplimiento técnico del trabajo.

Las fotografías constituyen uno de los elementos que integran dicho registro. Su valor documental depende de la relación que mantienen con el trámite, la etapa de la instalación y los datos que permiten reconocer su procedencia. Las características y el tratamiento de estas evidencias se desarrollan en la sección siguiente.

2.2 Evidencias fotográficas en procesos técnicos

Las evidencias fotográficas son registros visuales que documentan condiciones observables de una instalación o intervención durante distintas etapas de su ejecución. En los procesos técnicos, las imágenes complementan la información escrita al mostrar el estado previo del área de trabajo, las actividades realizadas y el resultado obtenido. Su utilidad depende de que permanezcan organizadas y vinculadas con la intervención correspondiente.

La norma ISO 15489-1:2016 establece principios para la creación, captura y gestión de registros, considerando los metadatos, el contexto de las actividades, las responsabilidades asignadas y los controles aplicados durante su administración (International Organization for Standardization, 2016). Estos principios son aplicables a las fotografías técnicas cuando cada

imagen se relaciona con datos que permiten identificar la actividad documentada, el responsable de su generación y la etapa a la que pertenece.

En las instalaciones realizadas por el personal del contratista, las fotografías del antes, durante y después forman parte del registro documental de cada trámite. La asociación entre las imágenes y el número de trámite permite que el personal administrativo localice y revise las evidencias sin depender de archivos dispersos o de una clasificación posterior. Su tratamiento comprende las características del archivo digital, los metadatos asociados, la gestión, el almacenamiento y las herramientas utilizadas para su consulta.

2.2.1. *Fotografía digital*

La fotografía digital registra una escena mediante un sensor electrónico y la representa como datos que conforman un archivo de imagen. Al encontrarse en formato digital, la fotografía puede almacenarse, copiarse, transmitirse y vincularse con otros registros dentro de un sistema de información. En procesos técnicos, la imagen debe conservar el detalle necesario para reconocer el objeto documentado y las condiciones visibles durante la intervención.

El formato JPEG permite reducir el tamaño de las fotografías mediante procesos de codificación y compresión. La norma ISO/IEC 10918-1:1994 especifica los procedimientos para convertir imágenes digitales fijas de tono continuo en datos comprimidos y reconstruir la imagen a partir de esos datos (International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission, 1994). La reducción del tamaño del archivo favorece su almacenamiento y transmisión desde dispositivos móviles, siempre que el nivel de compresión mantenga la información visual necesaria para interpretar la evidencia.

2.2.2. *Metadatos en imágenes digitales*

Los metadatos son datos asociados a un registro digital que describen su contenido, contexto, estructura y gestión. La norma ISO 15489-1:2016 incluye los metadatos para registros entre los elementos necesarios para su creación, captura y administración durante el tiempo que permanecen vinculados con una actividad organizacional (International Organization for Standardization, 2016). En una evidencia fotográfica, estos datos permiten relacionar la imagen con la intervención que documenta, en lugar de conservarla como un archivo aislado.

Los archivos fotográficos pueden incorporar metadatos técnicos definidos por el estándar Exchangeable Image File Format (Exif). Entre ellos se encuentran la fecha y hora de captura, el fabricante y el modelo del dispositivo, las dimensiones de la imagen y determinados parámetros utilizados durante la toma. Estos datos describen características del archivo y de su generación, pero no identifican por sí solos el proceso administrativo al que pertenece la fotografía (Camera & Imaging Products Association, 2019).

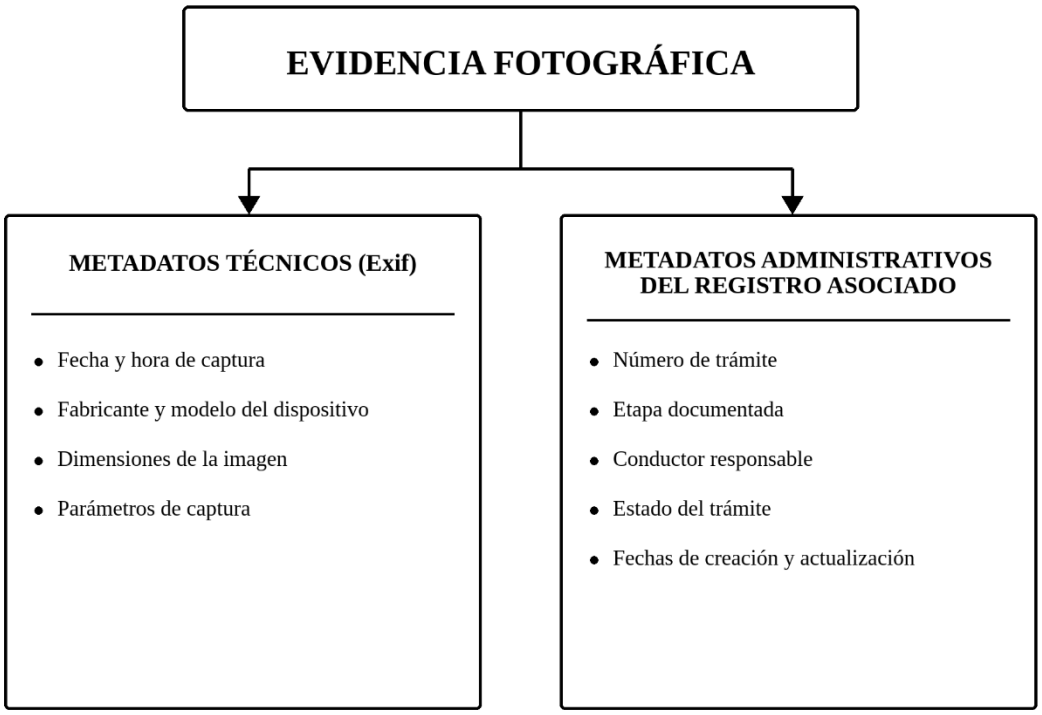
Los metadatos administrativos vinculan la fotografía con la actividad documentada. Para el registro de una instalación pueden incluir el número de trámite, la etapa correspondiente a la imagen, el usuario responsable, el estado del registro y las fechas asociadas a su gestión. Esta información facilita la organización, búsqueda y revisión de las evidencias por parte del personal autorizado. La trazabilidad operativa depende de la relación entre estos datos y el registro de la intervención, no de la información Exif contenida en el archivo.

Los metadatos vinculados con una evidencia fotográfica pueden diferenciarse según su origen y función. Los metadatos técnicos pueden incorporarse al archivo durante la captura y describen determinadas características de la imagen y del dispositivo. Los metadatos

administrativos pertenecen al registro asociado y permiten relacionar la fotografía con la intervención documentada. La Figura 3 presenta ambos grupos.

Figura 3

Clasificación de los metadatos asociados a una evidencia fotográfica



Nota. Los ejemplos de metadatos técnicos se fundamentan en el estándar Exif 2.32 (Camera & Imaging Products Association, 2019) Los metadatos administrativos se definieron a partir de los principios de gestión de registros de ISO 15489-1:2016 y se adaptaron al proceso documental analizado. Elaboración propia.

Los metadatos técnicos aportan información sobre la generación del archivo, pero no identifican por sí solos la instalación documentada. Los datos administrativos del registro permiten asociar la fotografía con el número de trámite, la etapa correspondiente, el conductor responsable y las fechas relacionadas con su gestión.

2.2.3. *Gestión de evidencias fotográficas digitales*

La gestión de evidencias fotográficas digitales comprende las actividades y responsabilidades necesarias para capturar, organizar, almacenar, consultar y conservar las imágenes vinculadas con una intervención técnica. Las fotografías deben tratarse como registros asociados a una actividad determinada y no como archivos independientes, debido a que su utilidad depende de la relación que mantienen con los datos que permiten identificar su origen y finalidad.

La norma ISO 15489-1:2016 establece principios para la creación, captura y gestión de registros, así como para la asignación de responsabilidades, el uso de metadatos y la aplicación de controles durante su administración (International Organization for Standardization, 2016). Estos elementos permiten que los registros permanezcan relacionados con la actividad que documentan y puedan ser localizados por el personal autorizado cuando sean necesarios.

La asignación de responsabilidades permite distinguir quién genera la evidencia y quién la utiliza para consultas y revisiones. En las instalaciones ejecutadas por el contratista, el conductor obtiene las fotografías y las vincula con el trámite correspondiente, mientras que la responsable administrativa consulta la información y prepara los reportes requeridos. El acceso a estas operaciones debe limitarse de acuerdo con las funciones asignadas a cada participante.

La gestión adecuada requiere que cada fotografía conserve su asociación con el número de trámite, la etapa de la instalación y el usuario responsable. La pérdida de esta relación dificulta la identificación de la evidencia y aumenta la posibilidad de errores durante su organización y consulta. El almacenamiento constituye una parte de este proceso y debe permitir que las imágenes y sus datos asociados permanezcan disponibles para su recuperación posterior.

2.2.4. *Almacenamiento de evidencias fotográficas*

El almacenamiento de evidencias fotográficas digitales forma parte de la gestión de registros en procesos técnicos. Las imágenes generadas en campo no deben permanecer dispersas en dispositivos móviles o conversaciones de mensajería, debido a que esta práctica dificulta su organización, identificación y recuperación posterior. La fotografía debe conservarse vinculada con los datos que explican su procedencia y la actividad que documenta (International Organization for Standardization, 2016).

Un archivo fotográfico cumple su función documental cuando puede localizarse de manera ordenada y permanece relacionado con la intervención correspondiente. La norma ISO 15489-1:2016 establece que los registros deben gestionarse junto con los metadatos, responsabilidades y controles necesarios para mantener su significado y facilitar su utilización durante las actividades de la organización (International Organization for Standardization, 2016).

La organización del almacenamiento requiere una estructura que permita distinguir las evidencias de cada intervención. En las instalaciones ejecutadas por el contratista, el número de trámite constituye el elemento que vincula las fotografías del antes, durante y después con el registro correspondiente. Esta asociación reduce la dependencia de carpetas personales y evita que la clasificación de las imágenes dependa únicamente de tareas manuales.

El acceso a las evidencias debe corresponder con las responsabilidades asignadas dentro del proceso. El conductor genera y registra las fotografías, mientras que la responsable administrativa las consulta para su revisión y para la preparación de reportes. Los mecanismos tecnológicos empleados para realizar estas operaciones se analizan en el apartado siguiente.

2.2.5. *Herramientas tecnológicas para la gestión de evidencias fotográficas*

La gestión de fotografías generadas durante actividades de campo puede apoyarse en herramientas de propósito general, plataformas de recopilación estructurada de datos o aplicaciones desarrolladas para un proceso específico. La selección de una alternativa depende de la forma en que las imágenes deben relacionarse con cada intervención, las condiciones de conectividad, los controles de acceso requeridos y los documentos que deben producirse.

Las aplicaciones de mensajería instantánea permiten intercambiar fotografías desde dispositivos móviles con rapidez. La asociación entre la imagen y la intervención documentada depende del texto incorporado por el usuario y de la revisión posterior de la conversación. Cuando aumenta el número de registros, la localización de las fotografías y su clasificación requieren búsquedas y tareas manuales.

Las carpetas compartidas permiten reunir archivos en una ubicación común y establecer permisos básicos de acceso. Su organización depende de los nombres asignados a los archivos, la estructura de las carpetas y las reglas aplicadas por los usuarios. Esta alternativa facilita el almacenamiento centralizado, pero no incorpora por sí sola un flujo para registrar las etapas de una intervención, validar la información asociada o generar documentos con una estructura definida.

Las plataformas de recopilación de datos en campo permiten crear formularios digitales que integran fotografías y otros tipos de información. Open Data Kit (ODK) fue presentado como un conjunto extensible de herramientas de código abierto para construir servicios de información en regiones en desarrollo (Hartung et al., 2010). ODK Collect permite completar formularios que incluyen imágenes y trabajar sin conexión (Get ODK Inc., s. f.-b). ODK Central administra cuentas, permisos basados en roles, formularios, envíos y mecanismos para descargar la información recopilada (Get ODK Inc., s. f.-a). KoboToolbox permite recopilar datos mediante

formularios web o KoboCollect, tanto en línea como sin conexión, y dispone de funciones para establecer permisos de usuario y exportar los registros en diferentes formatos (Kobo Inc., 2026).

Una aplicación móvil desarrollada para un proceso específico permite definir la estructura de los registros, las etapas de trabajo, los perfiles de usuario y los documentos generados de acuerdo con los requerimientos identificados. El funcionamiento con conectividad limitada, la sincronización de información, el registro de eventos y la elaboración automática de reportes no son características inherentes a cualquier aplicación móvil, sino capacidades que deben incorporarse y comprobarse durante su desarrollo.

La Tabla 2 resume los aportes y las limitaciones de los enfoques analizados para la gestión de evidencias fotográficas.

Tabla 2

Enfoques tecnológicos para la gestión de evidencias fotográficas

Herramienta	**Aportes al proceso**	**Limitaciones principales**
Mensajería instantánea	Permite el intercambio rápido de fotografías desde dispositivos móviles.	La asociación con el trámite y la organización posterior dependen de tareas manuales.
Carpetas compartidas	Centralizan los archivos y permiten establecer permisos básicos de acceso.	La organización depende de nombres y carpetas definidos por los usuarios; no incorporan un flujo de registro específico.
Formularios digitales (ODK y KoboToolbox)	Permiten registrar datos y fotografías mediante formularios estructurados, trabajar con conectividad limitada y administrar los registros recopilados.	Los flujos específicos, los controles particulares y los documentos personalizados pueden requerir configuración o desarrollo complementario.

Aplicación móvil adaptada	Permite definir etapas, perfiles, asociación por trámite y documentos de acuerdo con el proceso.	Requiere desarrollo, pruebas y mantenimiento.

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de los enfoques descritos, de Hartung et al. (2010) y de la documentación oficial de Get ODK Inc. (s. f.-a, s. f.-b) y Kobo Inc. (2026).

La mensajería instantánea y las carpetas compartidas facilitan el intercambio o el almacenamiento de fotografías, pero mantienen una dependencia considerable de la clasificación manual. Los formularios digitales permiten estructurar la captura y administrar los registros mediante funciones configurables, aunque su adaptación a procedimientos particulares puede requerir ajustes adicionales.

El proceso del contratista requiere que las fotografías correspondientes al antes, durante y después permanezcan asociadas con el número de trámite, que las operaciones disponibles se diferencien según el perfil del usuario y que la información pueda consolidarse en documentos. Una aplicación móvil adaptada permite incorporar estas condiciones dentro de un flujo definido. La selección de este enfoque no implica que todas las capacidades estén disponibles automáticamente, debido a que cada función debe implementarse y verificarse durante el desarrollo.

2.3 Gobernanza de la información y la tecnología (I&T)

La información y la tecnología utilizadas en la gestión de evidencias fotográficas constituyen recursos necesarios para registrar, organizar, consultar y presentar los resultados de las instalaciones ejecutadas por el personal del contratista. Su uso requiere decisiones sobre responsabilidades, derechos de acceso, tratamiento de los registros y mecanismos de revisión, debido a que la confiabilidad de los reportes depende tanto de la solución técnica como de los

controles que orientan su operación. En el presente trabajo, ISO/IEC 38500:2024 se emplea como referencia conceptual de gobernanza y COBIT 2019 como marco principal para seleccionar objetivos y prácticas de gestión relacionadas con las necesidades del proceso analizado (International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission, 2024; ISACA, 2018b).

2.3.1. *Diferencia entre gobernanza y gestión de la información y la tecnología*

La norma ISO/IEC 38500:2024 establece principios orientados a los integrantes de los órganos de gobierno y a quienes los apoyan, con el propósito de promover un uso efectivo, eficiente y aceptable de la tecnología dentro de las organizaciones. Su alcance comprende el uso actual y futuro de la tecnología y la reconoce como un ámbito de la gobernanza organizacional (International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission, 2024). La norma aporta una referencia conceptual, mientras que COBIT 2019 proporciona objetivos y prácticas que permiten relacionar esa orientación con necesidades concretas de gobierno y gestión de I&T.

COBIT 2019 diferencia la gobernanza de la gestión porque ambas comprenden actividades, estructuras y propósitos distintos. La gobernanza evalúa las necesidades, condiciones y opciones de las partes interesadas, establece la dirección mediante la priorización y la toma de decisiones, y monitoriza el desempeño y el cumplimiento respecto de los objetivos acordados. La gestión planifica, construye, ejecuta y monitoriza las actividades necesarias para seguir la dirección establecida por el órgano de gobierno (ISACA, 2018b).

En el proceso del contratista, esta distinción permite separar las decisiones relacionadas con las responsabilidades, los criterios de acceso, la conservación de la información y su revisión, de las actividades operativas de registro, organización, consulta y generación documental. El

sistema actúa como un medio de apoyo para ejecutar controles definidos por la organización, pero no reemplaza las funciones de dirección, supervisión y toma de decisiones que corresponden al nivel de gobernanza.

2.3.2. *Marco de referencia COBIT 2019*

COBIT 2019 es un marco para el gobierno y la gestión de la información y la tecnología empresarial. Su alcance no se limita al departamento de tecnología, debido a que comprende la información, el procesamiento y los recursos tecnológicos utilizados por la organización para alcanzar sus objetivos. La cascada de metas traduce las necesidades de las partes interesadas en metas empresariales, metas de alineamiento y objetivos de gobierno y gestión, lo que permite vincular las prioridades organizacionales con componentes y prácticas de I&T (ISACA, 2018b).

COBIT 2019 establece seis principios para un sistema de gobierno: proporcionar valor a las partes interesadas, adoptar un enfoque holístico, mantener un sistema de gobierno dinámico, separar la gobernanza de la gestión, adaptar el sistema a las necesidades de la empresa y cubrir la empresa de extremo a extremo. El marco de gobierno se sustenta, además, en tres principios: basarse en un modelo conceptual, ser abierto y flexible, y alinearse con los principales estándares, marcos y regulaciones (ISACA, 2018b). Estos principios proporcionan una orientación general para el gobierno empresarial de I&T; su relación con el sistema propuesto se concreta mediante objetivos del ciclo de vida y prácticas de gestión seleccionadas para derivar criterios específicos de control.

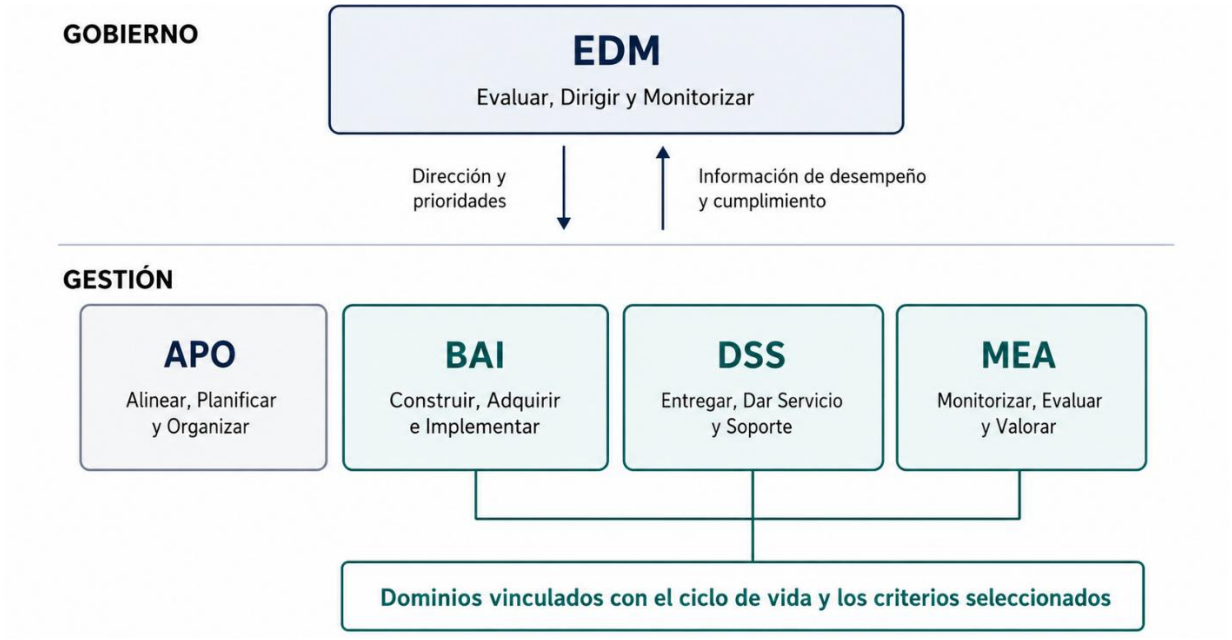
Los objetivos de gobierno y gestión se organizan en cinco dominios. El dominio Evaluar, Dirigir y Monitorizar (EDM) agrupa los objetivos de gobierno. Los objetivos de gestión se distribuyen en Alinear, Planificar y Organizar (APO), Construir, Adquirir e Implementar (BAI), Entregar, Dar Servicio y Soporte (DSS), y Monitorizar, Evaluar y Valorar (MEA). En el presente

trabajo, BAI02 y BAI03 proporcionan la referencia transversal para la definición de requerimientos y la identificación y construcción de la solución, mientras que BAI07 se mantiene como referencia condicionada para la aceptación. DSS contiene las prácticas de gestión utilizadas para derivar criterios de identidad, acceso, procesamiento, privilegios y trazabilidad, y MEA aporta una referencia para disponer de información revisable que apoye la supervisión administrativa de los controles (ISACA, 2018a, 2018b).

La Figura 4 sintetiza esta organización y destaca los dominios que contienen las prácticas seleccionadas para el estudio.

Figura 4

Dominios de gobierno y gestión de COBIT 2019



Nota. Elaboración propia con base en el modelo de objetivos de gobierno y gestión de COBIT 2019 presentado por ISACA (2018a, 2018b). Los dominios BAI, DSS y MEA se destacan por su relación con el ciclo de vida de la solución, los criterios específicos de control y la revisión administrativa.

El esquema mantiene visibles los cinco dominios para representar la separación entre gobierno y gestión. BAI se destaca por los objetivos relacionados con los requerimientos, la construcción de la solución y la aceptación condicionada; DSS y MEA se resaltan por contener las prácticas de gestión seleccionadas para derivar criterios específicos de control y apoyar la revisión administrativa. Esta selección no implica que la solución propuesta adopte integralmente el sistema de gobierno definido por COBIT 2019.

2.3.3. *Objetivos y prácticas de COBIT 2019 seleccionados*

La relación de COBIT 2019 con el proyecto se organiza en tres categorías. La primera comprende los objetivos y prácticas de gestión que orientan transversalmente el ciclo de vida de la solución. En esta categoría, BAI02 se relaciona con la definición y trazabilidad de los requerimientos, mientras que BAI03 orienta el diseño, el desarrollo, la construcción, la integración y las pruebas. La segunda categoría corresponde a la aceptación condicionada mediante BAI07. La tercera reúne prácticas de DSS y MEA utilizadas para derivar criterios específicos de identidad, acceso, procesamiento, autoridad, trazabilidad y revisión administrativa.

BAI02.01 permite identificar, clasificar, priorizar, documentar y trazar los requisitos funcionales y técnicos. BAI02.02 se considera únicamente cuando existe una evaluación documentada de factibilidad y de soluciones alternativas; las matrices comparativas pueden aportar evidencia para esta finalidad, pero no representan por sí solas un estudio integral. BAI02.04 exige obtener la aprobación de los requisitos y de las soluciones en etapas clave. En el presente trabajo, la relación con BAI02.04 permanece condicionada a una aprobación o ratificación formal, fechada y emitida por una parte interesada con autoridad. Una revisión sin conformidad expresa no se presenta como evidencia suficiente, y una ratificación posterior no se describe como aprobación previa al diseño (ISACA, 2018a).

BAI03 proporciona la referencia para transformar los requerimientos en una solución construida y verificable. BAI03.01 se relaciona con el diseño de alto nivel; BAI03.02, con los componentes detallados; BAI03.03, con el desarrollo de los componentes; y BAI03.05, con su construcción, configuración e integración. BAI03.07 comprende la preparación de las pruebas, mientras que BAI03.08 se relaciona con su ejecución, el registro de hallazgos y la conservación de resultados. BAI03.12 reconoce que las soluciones pueden diseñarse conforme con una metodología definida, incluida la metodología en cascada; en el presente trabajo se utiliza como referencia conceptual para establecer la compatibilidad entre COBIT 2019 y la metodología adoptada, sin atribuir la aplicación integral de la práctica (ISACA, 2018a).

BAI07 gestiona la aceptación y la transición de los cambios de TI. Las prácticas BAI07.03, BAI07.04 y BAI07.05 comprenden, respectivamente, la planificación de las pruebas de aceptación, el establecimiento del entorno y la ejecución de dichas pruebas. Su posible relación con el proyecto permanece condicionada a la existencia de participantes identificados, criterios, escenarios, condiciones del entorno, resultados, evidencia, fecha y conformidad documentada. No se asignan estados de cumplimiento a estas prácticas (ISACA, 2018a).

Las prácticas DSS05.04, DSS06.02, DSS06.03, DSS06.05 y MEA02.01 se seleccionan para derivar criterios específicos de control. Estas prácticas no constituyen controles técnicos implementables de forma aislada; proporcionan referencias que deben traducirse en requerimientos, decisiones de diseño, componentes y mecanismos de comprobación acordes con el alcance del sistema (ISACA, 2018a).

La Tabla 3 resume esta organización.

Tabla 3

Objetivos y prácticas de COBIT 2019 seleccionados para el ciclo de vida y los criterios de control del sistema

Tipo de relación	Objetivo de gestión	Práctica de gestión	Alcance en el sistema
Ciclo de vida	BAI02 Gestionar la definición de requisitos	BAI02.01 Definir y mantener los requisitos funcionales y técnicos del negocio	Referencia para identificar, clasificar, priorizar, documentar y trazar los requerimientos. No se atribuye el mantenimiento formal integral ni el control de cambios sin evidencia suficiente.
Evaluación condicionada	BAI02 Gestionar la definición de requisitos	BAI02.02 Realizar un estudio de factibilidad y formular soluciones alternativas	Las matrices comparativas aportan evidencia de evaluación de alternativas; no se presentan por sí solas como un estudio integral de factibilidad.
Aprobación condicionada	BAI02 Gestionar la definición de requisitos	BAI02.04 Obtener la aprobación de requisitos y soluciones	Solo se relaciona con el proyecto cuando existe aprobación o ratificación formal, fechada y emitida por una parte interesada con autoridad. Una ratificación posterior no se presenta como aprobación previa.
Ciclo de vida	BAI03 Gestionar la identificación y construcción de soluciones	BAI03.01 Diseñar soluciones de alto nivel BAI03.02 Diseñar componentes detallados para la solución	Se relacionan con la arquitectura, los límites y los módulos generales, y con el diseño detallado de interfaces, flujos, datos, reglas, secuencias y controles.

Tipo de relación	Objetivo de gestión	Práctica de gestión	Alcance en el sistema
Ciclo de vida	BAI03 Gestionar la identificación y construcción de soluciones	BAI03.03 Desarrollar los componentes de la solución BAI03.05 Construir soluciones	Se relacionan con el desarrollo de componentes y con su configuración, ensamblaje e integración con los servicios utilizados.
Ciclo de vida	BAI03 Gestionar la identificación y construcción de soluciones	BAI03.07 Preparar las pruebas de la solución BAI03.08 Ejecutar las pruebas de la solución	Se relacionan con el plan, los escenarios, las condiciones, los datos y los resultados esperados, y con la ejecución, los hallazgos, los resultados observados y las evidencias.
Referencia conceptual	BAI03 Gestionar la identificación y construcción de soluciones	BAI03.12 Diseñar soluciones conforme a la metodología de desarrollo definida	Permite establecer la compatibilidad conceptual entre COBIT 2019 y la metodología en cascada, sin atribuir la aplicación integral de la práctica.
Aceptación condicionada	BAI07 Gestionar la aceptación y la transición de los cambios de TI	BAI07.03 Planear las pruebas de aceptación BAI07.04 Establecer un entorno de pruebas BAI07.05 Realizar pruebas de aceptación	Solo se relacionan con el proyecto cuando existen plan, participantes, criterios, entorno verificado, resultados, evidencia, fecha y conformidad documentada.
Criterio específico de control	DSS05 Gestionar los servicios de seguridad	DSS05.04 Gestionar la identidad del usuario y el acceso lógico	Autenticación, rol reconocido, estado activo o suspendido, cambio obligatorio de contraseña temporal y revocación mediante suspensión.

Tipo de relación	Objetivo de gestión	Práctica de gestión	Alcance en el sistema
Criterio específico de control	DSS06 Gestionar los controles de procesos de negocio	DSS06.02 Controlar el procesamiento de información	Validaciones del número, la observación y las fotografías; completitud, cambios efectivos y determinación del estado del trámite.
Criterio específico de control	DSS06 Gestionar los controles de procesos de negocio	DSS06.03 Gestionar roles, responsabilidades, privilegios de acceso y niveles de autoridad	Separación entre conductor y administrador, propiedad de los documentos, privilegios y autoridad para ejecutar operaciones.
Criterio específico de control	DSS06 Gestionar los controles de procesos de negocio	DSS06.05 Asegurar la trazabilidad y la rendición de cuentas de los eventos de información	Registro de acciones, datos asociados, identificación disponible del actor y marca temporal del servidor.
Información para revisión	MEA02 Gestionar el sistema de control interno	MEA02.01 Supervisar los controles internos	La bitácora proporciona información revisable para apoyar la supervisión administrativa de los controles, sin sustituirla.

Nota. Elaboración propia a partir de ISACA (2018a, 2018b). BAI02 y BAI03 se utilizan como referencias transversales del ciclo de vida. BAI02.02 permanece condicionada a la evaluación documentada de alternativas; BAI02.04, a una aprobación o ratificación formal, fechada y con conformidad expresa, conservando su cronología real; y BAI07.03, BAI07.04 y BAI07.05, a la evidencia disponible. Las prácticas DSS y MEA se utilizan para derivar criterios específicos de control y no representan la adopción integral de sus objetivos.

Los objetivos y prácticas seleccionados no constituyen una certificación, una auditoría ni una evaluación formal de capacidad de COBIT 2019. La correspondencia documentada se limita a las actividades y criterios de control que pueden sustentarse mediante requerimientos, artefactos de diseño, componentes, pruebas y evidencias del proyecto. Los estados de cumplimiento presentados en los capítulos posteriores corresponden a los requerimientos del sistema y no a los objetivos o prácticas completas de COBIT.

2.3.4. *Gestión de identidades, control de acceso y trazabilidad*

La gestión de identidades permite asociar una cuenta con una persona y mantener los derechos de acceso acordes con las funciones autorizadas. La autenticación comprueba las credenciales presentadas para confirmar la identidad declarada por el usuario, mientras que la autorización determina las operaciones y los recursos disponibles después de validar esa identidad. La práctica DSS05.04 establece que los derechos de acceso deben responder a los requisitos del negocio, los roles y las responsabilidades definidos (ISACA, 2018a).

El control de acceso basado en roles agrupa privilegios según las funciones asignadas y reduce la exposición de información a usuarios que no la requieren para su actividad. En el proceso analizado, la diferenciación entre conductor y administrador permite separar el registro de evidencias en campo de las funciones de consulta, revisión, gestión de cuentas y generación documental. Esta separación se relaciona con DSS06.03, que comprende la asignación de roles, responsabilidades, privilegios y niveles de autoridad de acuerdo con las actividades del proceso (ISACA, 2018a).

La administración de cuentas comprende su creación, la actualización de los datos permitidos, el control del estado activo o suspendido y la actualización de credenciales. En el proceso analizado, el acceso requiere una identidad autenticada, un perfil reconocido y una cuenta

activa. La suspensión permite revocar el acceso sin eliminar el perfil ni los registros previamente asociados con el usuario. Cuando se utiliza una contraseña temporal, el cambio obligatorio debe completarse antes de habilitar el acceso normal a las funciones del sistema (ISACA, 2018a).

Los registros de eventos documentan acciones ocurridas en sistemas y redes y permiten revisar actividades, investigar incidentes y reconstruir secuencias operativas. Su utilidad depende de conservar información suficiente para identificar el tipo de evento, el momento en que ocurrió, el usuario o la fuente asociada cuando corresponda y los datos necesarios para interpretar la acción. La gestión de estos registros comprende su generación, almacenamiento, consulta y conservación, junto con medidas que eviten alteraciones o eliminaciones no autorizadas (Kent & Souppaya, 2006).

La trazabilidad descrita en DSS06.05 exige que la información pueda vincularse con el evento que la originó y con las partes responsables. En la solución propuesta, este criterio sustenta la asociación entre el trámite, sus evidencias y las acciones registradas durante su gestión. La bitácora resultante proporciona elementos para la revisión administrativa y apoya la supervisión contemplada en MEA02.01; no reemplaza la evaluación del control interno, la comparación con buenas prácticas ni la definición de medidas correctivas que corresponden al contratista (ISACA, 2018a).

La aplicación técnica de los objetivos transversales y de las prácticas de gestión seleccionadas se desarrolla en el Capítulo III. En dicho capítulo se presenta la relación entre los requerimientos, los artefactos de diseño, el modelo de datos, las reglas de acceso, los componentes del sistema y los mecanismos previstos para su comprobación.

2.4 Plataforma móvil y condiciones de conectividad

El desarrollo de una aplicación móvil para el registro de evidencias fotográficas requiere considerar el dispositivo utilizado por el personal en campo y la conectividad inalámbrica disponible en el entorno operativo. El dispositivo móvil actúa como plataforma física de ejecución, mientras que la conectividad constituye una condición externa para acceder a servicios remotos y sincronizar la información. Esta distinción permite describir los recursos necesarios para el funcionamiento del sistema sin atribuirle el diseño de equipos o infraestructura de telecomunicaciones que no forman parte del proyecto.

2.4.1. *Dispositivo móvil*

Los dispositivos móviles son plataformas portátiles de cómputo capaces de procesar y almacenar datos localmente, operar mediante una fuente de energía propia y establecer comunicaciones inalámbricas. Pueden integrar cámaras y otros componentes de adquisición que permiten registrar información durante actividades realizadas fuera de una ubicación fija (Howell et al., 2023).

En aplicaciones móviles de campo, el dispositivo concentra funciones de captura, visualización, procesamiento local y comunicación. La cámara integrada constituye el componente de adquisición de las evidencias fotográficas, puesto que permite documentar visualmente las actividades ejecutadas sin recurrir a equipos independientes. El almacenamiento local conserva temporalmente la información requerida por la aplicación.

En el proceso analizado, el dispositivo móvil corresponde a la plataforma utilizada por el personal del contratista para registrar, consultar y completar la información asociada con cada trámite. Su función se define por las capacidades requeridas por la aplicación y no por un modelo comercial específico. No se establecen valores mínimos de resolución de cámara, memoria,

procesador o autonomía que no hayan sido determinados mediante pruebas técnicas o requisitos documentados.

2.4.2. *Conectividad inalámbrica*

La conectividad inalámbrica permite que el dispositivo móvil intercambie información con servicios remotos sin depender de una conexión física permanente. Las redes Wi-Fi utilizan tecnologías de la familia IEEE 802.11. La revisión IEEE Std 802.11-2024 especifica funciones de control de acceso al medio y de capa física para redes de área local inalámbricas, sobre las cuales los dispositivos pueden acceder a internet mediante puntos de acceso disponibles en el entorno de trabajo (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2025).

Las redes móviles proporcionadas por los operadores complementan el acceso cuando no existe una red Wi-Fi disponible. El sistema requiere una conexión IP para autenticar usuarios, consultar información remota, transferir registros y confirmar la sincronización con el servidor, pero no depende de una generación celular específica. La disponibilidad de la comunicación puede variar por cobertura, congestión, movilidad del usuario y condiciones del sector.

Frente a interrupciones temporales, la persistencia local permite mantener información previamente disponible y operaciones pendientes hasta que se restablezca la comunicación. Las acciones que requieren validación inmediata del servidor permanecen condicionadas a una conexión activa. La infraestructura de red se considera un medio externo de comunicación y no un componente desarrollado por el sistema. El tratamiento de la persistencia local y la sincronización se desarrolla en la sección 2.5.8.

2.5 Tecnologías y servicios de software

Las tecnologías y los servicios de software permiten construir, ejecutar y sostener una aplicación móvil mediante funciones de interfaz, procesamiento, autenticación, almacenamiento,

sincronización y generación documental. El presente apartado describe la plataforma Android, el lenguaje Dart, el framework Flutter, los servicios de Firebase, el modelo documental de Cloud Firestore y el formato PDF. La revisión se limita a los elementos utilizados por el sistema y evita atribuirle productos o capacidades que no forman parte de su arquitectura.

2.5.1. *Plataforma móvil Android*

Android es una plataforma para dispositivos móviles que administra la ejecución de aplicaciones, los procesos, la memoria y el acceso a recursos del equipo. Cada aplicación recibe un identificador de usuario propio y se ejecuta en un proceso aislado, lo que limita el acceso directo a los datos de otras aplicaciones y protege los recursos del sistema operativo (Android Open Source Project, s. f.).

El acceso a datos o acciones restringidas se controla mediante el modelo de permisos de Android. La plataforma distingue permisos concedidos durante la instalación, permisos solicitados durante la ejecución y permisos especiales, de acuerdo con el tipo de recurso o acción requerida. Este modelo obliga a que la aplicación solicite únicamente los accesos necesarios para cumplir sus funciones (Android Developers, s. f.).

Android constituye la plataforma seleccionada para ejecutar la aplicación. El sistema operativo proporciona el entorno donde se presentan las interfaces, se accede a la cámara mediante los mecanismos disponibles en el dispositivo, se conserva información local y se establece comunicación con servicios remotos. La capacidad multiplataforma de Flutter no implica que el sistema haya sido desplegado o validado en todos los sistemas operativos compatibles.

2.5.2. *Lenguaje de programación Dart*

Dart es un lenguaje de programación optimizado para desarrollar aplicaciones rápidas en múltiples plataformas. Su modelo combina tipado seguro, clases, funciones, bibliotecas y

herramientas de compilación que permiten generar aplicaciones para entornos móviles, web, escritorio y servidor. Dart constituye la base de ejecución y desarrollo utilizada por Flutter (Dart, s. f.-b).

La seguridad de nulidad permite distinguir entre tipos que admiten valores nulos y tipos que deben mantener un valor válido. El compilador detecta posibles accesos a referencias nulas antes de la ejecución, lo que reduce errores derivados del uso accidental de datos ausentes. Esta característica no reemplaza la validación de formularios ni las reglas de negocio, pero fortalece el control estático del código (Dart, s. f.-c).

El lenguaje incorpora estructuras asíncronas como Future, async y await para gestionar operaciones que implican espera, entre ellas consultas, lectura de datos y comunicación con servicios externos. Los isolates proporcionan unidades de ejecución con memoria separada y permiten trasladar cálculos que podrían afectar la capacidad de respuesta de la interfaz. La distinción entre espera asíncrona y procesamiento independiente resulta relevante en aplicaciones que manipulan imágenes o construyen documentos (Dart, s. f.-a).

2.5.3. *Framework Flutter*

Flutter es un framework multiplataforma para construir interfaces de usuario a partir de una base de código compartida. Durante el desarrollo, el framework utiliza el entorno de Dart y ofrece recarga de cambios para facilitar la iteración; en las versiones de producción, el código se compila de acuerdo con la plataforma de destino. Esta capacidad permite reutilizar una parte importante de la lógica y de la interfaz sin afirmar que todas las plataformas hayan sido implementadas o probadas (Flutter, s. f.).

La interfaz de Flutter se organiza mediante widgets. Cada widget constituye una declaración inmutable de una parte de la interfaz y se integra en una jerarquía basada en composición. Este enfoque declarativo permite representar pantallas, formularios, listas, botones y estados visuales mediante estructuras que el framework reconstruye cuando cambia la información asociada (Flutter, s. f.).

La integración con complementos permite acceder a funciones del dispositivo y a servicios externos desde el código Dart. En una aplicación de gestión documental, esta capacidad facilita conectar la interfaz con la cámara, el almacenamiento local, la autenticación y la base de datos, manteniendo separadas la presentación y las operaciones de acceso a servicios.

2.5.4. *Firebase como plataforma de servicios administrados*

Firebase es una plataforma que proporciona servicios administrados para el desarrollo de aplicaciones móviles y web. La integración con Flutter se realiza mediante complementos independientes para cada producto, los cuales se configuran e inicializan dentro del proyecto antes de utilizar sus funciones (Firebase, s. f.-b).

La arquitectura del sistema utiliza Firebase Core para inicializar la conexión con el proyecto remoto, Firebase Authentication para gestionar la identidad autenticada y Cloud Firestore para almacenar y sincronizar la información. Esta selección no implica el uso de todos los productos disponibles en Firebase. No se incorporan Firebase Storage, Cloud Messaging, Analytics ni otros servicios que no aparecen en las dependencias y funciones del sistema.

El uso de servicios administrados reduce la necesidad de desplegar un servidor propio para las funciones cubiertas por la plataforma, pero no elimina las decisiones de diseño. La estructura de datos, las reglas de acceso, las validaciones, la gestión de perfiles y el tratamiento de la información continúan dependiendo de la arquitectura definida para la aplicación.

2.5.5. *Firebase Authentication*

Firebase Authentication es un servicio para autenticar usuarios mediante distintos proveedores de identidad. En Flutter, el método basado en correo electrónico y contraseña permite crear cuentas e iniciar sesión con credenciales asociadas a un usuario registrado (Firebase, s. f.-c).

Después de una autenticación correcta, el servicio proporciona una identidad asociada con un identificador único y mantiene el estado de la sesión. Esta identidad permite reconocer al usuario que interactúa con los servicios de Firebase y constituye una base para aplicar controles posteriores sobre la información.

La autenticación no sustituye a la autorización. Firebase Authentication comprueba las credenciales y establece la identidad autenticada, mientras que el perfil funcional, el estado activo o suspendido, el cambio obligatorio de la contraseña temporal y las operaciones permitidas se determinan mediante información adicional, lógica de aplicación y reglas de seguridad. Esta separación evita atribuir al servicio de autenticación la totalidad del control basado en roles.

2.5.6. *Bases de datos documentales NoSQL*

Las bases de datos NoSQL agrupan diversos modelos de almacenamiento que no dependen exclusivamente de tablas relacionales. Las bases orientadas a documentos organizan la información en registros compuestos por campos y valores, lo que permite representar una entidad mediante una estructura que puede incluir datos simples, arreglos, mapas y objetos anidados (Sadalage & Fowler, 2012).

El modelo documental facilita reunir datos relacionados dentro de una unidad lógica y adaptar la estructura a las necesidades de lectura y actualización de la aplicación. Esta flexibilidad no implica ausencia de diseño. Los identificadores, las colecciones, los campos, los tipos y las

relaciones lógicas deben mantenerse coherentes para facilitar las consultas y reducir inconsistencias.

La selección de una base documental resulta pertinente cuando las operaciones se concentran en recuperar y actualizar registros completos o grupos de campos relacionados. El diseño debe partir de las consultas previstas y del modo en que los usuarios crean, completan y revisan la información, en lugar de trasladar de forma automática un esquema relacional a documentos.

2.5.7. *Cloud Firestore y almacenamiento binario de evidencias*

Cloud Firestore es una base de datos NoSQL orientada a documentos. La información se almacena en documentos identificados de forma única y organizados dentro de colecciones. Cada documento contiene pares de campo y valor, y puede incluir cadenas, números, marcas temporales, mapas, arreglos y valores binarios (Firebase, s. f.-d).

La compatibilidad con valores binarios permite almacenar evidencias fotográficas dentro del documento que contiene los datos administrativos del trámite. Esta organización mantiene la asociación entre las imágenes y el registro correspondiente sin depender de referencias hacia archivos ubicados en un servicio externo. En la arquitectura definida para el sistema, las fotografías se conservan como datos binarios en Cloud Firestore y no se utiliza Firebase Storage.

Cloud Firestore establece límites que deben considerarse durante el diseño. Un documento no puede exceder 1 MiB, equivalente a 1 048 576 bytes (Firebase, s. f.-e). El límite comprende el documento completo, por lo que deben considerarse los nombres de campos, los datos administrativos, las marcas temporales y las evidencias binarias. La cantidad y el tamaño de las imágenes requieren control antes de su almacenamiento.

El almacenamiento dentro de un mismo documento no implica que las tres fotografías deban incorporarse mediante una única escritura. La información puede completarse mediante actualizaciones sucesivas del registro, siempre que cada operación respete las reglas de acceso, mantenga la estructura prevista y no exceda los límites de la plataforma.

2.5.8. *Sincronización y persistencia local*

Cloud Firestore ofrece persistencia local mediante una caché administrada por la biblioteca cliente. En Android, esta capacidad se encuentra habilitada de forma predeterminada y conserva una copia de los datos utilizados activamente por la aplicación. La biblioteca puede leer, escribir, escuchar y consultar información disponible localmente, y sincroniza los cambios con el servicio remoto cuando existe comunicación (Firebase, s. f.-a).

La persistencia local permite distinguir tres situaciones: datos previamente disponibles en la caché, escrituras locales pendientes de sincronización e información confirmada por el servidor. Los datos procedentes de la caché pueden encontrarse desactualizados o incompletos, mientras que una respuesta del servidor representa el estado remoto disponible en ese momento.

La existencia de una caché no significa que todas las funciones puedan ejecutarse sin conexión. Las operaciones que requieren validar información remota, comprobar disponibilidad o confirmar un cambio permanecen condicionadas por la comunicación con el servidor. La aplicación debe definir qué actividades pueden continuar con datos locales y cuáles deben esperar una respuesta remota.

Esta distinción resulta necesaria para la gestión de trámites: una modificación puede quedar registrada localmente y pendiente de sincronización; la confirmación de que el cambio fue aceptado por el servicio remoto debe sustentarse en información recibida del servidor. El diseño específico de este comportamiento se desarrolla en el Capítulo III.

2.5.9. *Formato PDF para reportes*

El formato PDF permite representar documentos electrónicos con una disposición visual controlada. La especificación ISO 32000-2:2020 define un formato capaz de integrar texto, imágenes y elementos gráficos para su intercambio, visualización e impresión en distintos entornos (International Organization for Standardization, 2020).

La estructura del formato resulta adecuada para elaborar reportes que deben conservar una distribución uniforme, independientemente de la aplicación utilizada para abrirlos. En un documento de evidencias pueden organizarse datos identificativos, observaciones y fotografías dentro de páginas con dimensiones y posiciones definidas.

El uso de PDF facilita la revisión, la impresión y el envío de reportes sin exponer la estructura interna de la base de datos. La referencia a ISO 32000-2:2020 se utiliza como fundamento conceptual del formato y no implica que los archivos generados declaren conformidad específica con PDF 2.0. La preservación de largo plazo mediante variantes como PDF/A requiere condiciones adicionales que no se evalúan en el presente trabajo.

2.6 Metodología de desarrollo en cascada

La metodología en cascada organiza el desarrollo de software mediante una secuencia de fases relacionadas. Los productos obtenidos en una etapa sirven como entrada para la siguiente, lo que favorece la planificación, la documentación de decisiones y la trazabilidad entre lo especificado, lo diseñado, lo implementado y lo verificado. El avance requiere comprobar que los resultados de cada fase cumplen los criterios definidos antes de continuar.

Uno de sus antecedentes conceptuales se encuentra en Royce (1970), quien presentó una secuencia de actividades para el desarrollo de sistemas de software de gran escala. Su trabajo no planteó un recorrido irreversible, sino que advirtió que una ejecución rígida y sin revisiones entre

etapas podía retrasar la detección de problemas y aumentar el costo de las correcciones. La revisión y la retroalimentación de los productos intermedios permiten reducir este riesgo.

Pressman (2010) describe el modelo en cascada como un enfoque secuencial que resulta más apropiado cuando los requerimientos se encuentran definidos con suficiente claridad y el alcance presenta estabilidad. La documentación generada durante el proceso permite comprobar la correspondencia entre los requerimientos y los productos obtenidos, además de facilitar el seguimiento técnico de los entregables.

El modelo proporciona una estructura ordenada para coordinar actividades y controlar el avance. Su principal limitación aparece cuando se introducen cambios tardíos, debido a que puede ser necesario revisar productos elaborados en fases anteriores. La secuencia debe mantener mecanismos de revisión y validación, sin interpretarse como un proceso completamente rígido. En el presente proyecto, la metodología en cascada organiza las fases de requerimientos, diseño, implementación y pruebas, mientras que COBIT 2019 proporciona objetivos y prácticas de gestión para orientar la definición de requerimientos, la construcción de la solución y los criterios de control incorporados durante dichas fases. BAI03.12 reconoce el diseño de soluciones conforme con una metodología definida, incluida la metodología en cascada; por ello, ambos elementos cumplen funciones complementarias. COBIT no sustituye la metodología ni prescribe la arquitectura técnica del sistema (ISACA, 2018a). La aplicación de esta relación se presenta en el numeral 3.1.

Capítulo III: Diseño del sistema

El presente capítulo desarrolla el diseño del sistema propuesto para la gestión digital de evidencias fotográficas generadas durante las instalaciones de medidores de agua potable ejecutadas por el personal del contratista en el cantón Ibarra. Para facilitar su identificación a lo largo del documento, el sistema propuesto se denomina **"AquaTrace"**. Se describen el análisis del procedimiento actual, los requerimientos, los criterios de diseño derivados de COBIT 2019, la arquitectura, los componentes funcionales, los flujos operativos, el modelo de datos, los controles de acceso, la auditoría y la planificación de la validación.

El capítulo parte de la información obtenida mediante las encuestas aplicadas al personal directamente relacionado con el registro y la organización de las evidencias fotográficas. Los hallazgos identificados permiten establecer las necesidades operativas que sirven como base para la formulación de los requerimientos y para el diseño técnico de la solución.

3.1 Metodología de diseño

La metodología en cascada, descrita en la sección 2.6, organizó el desarrollo de AquaTrace en cuatro fases: requerimientos, diseño, implementación y pruebas. La secuencia permitió definir las necesidades operativas antes de establecer la arquitectura, desarrollar los componentes y comprobar su funcionamiento. Los productos de cada fase constituyeron entradas para la fase posterior y mantuvieron la continuidad entre el análisis, el diseño y la validación.

La metodología en cascada y COBIT 2019 cumplen funciones complementarias. La primera organiza la secuencia del desarrollo, mientras que BAI02 proporciona una referencia para identificar, documentar y trazar los requerimientos, y BAI03 orienta el diseño, la construcción, la integración y las pruebas de la solución. BAI03.12 se tomó como referencia conceptual para

establecer la compatibilidad entre COBIT 2019 y la metodología en cascada utilizada en AquaTrace, sin atribuir la aplicación integral de la práctica ni considerar que el marco prescribe la arquitectura o las tecnologías empleadas (ISACA, 2018a).

En la fase de requerimientos se analizó el procedimiento empleado por el personal del contratista para registrar, transmitir y organizar las evidencias fotográficas. Las encuestas de los Anexos A y B permitieron identificar los actores, las actividades, las dificultades y las necesidades del proceso. A partir de esta información se identificaron, organizaron y priorizaron las necesidades operativas, los requerimientos funcionales y las condiciones técnicas y de arquitectura que orientan el diseño de la solución. La trazabilidad definida en esta fase permite relacionar las necesidades operativas con las decisiones de diseño y las comprobaciones previstas.

La fase de diseño comprendió la comparación de alternativas tecnológicas, la definición de la arquitectura general, los componentes funcionales, los flujos operativos, el modelo de datos NoSQL, las reglas de acceso, la generación documental, la auditoría y las interfaces conceptuales. También se definieron las comprobaciones necesarias para verificar posteriormente el funcionamiento, la integración, la eficiencia y las condiciones técnicas de la solución. Su organización y sus criterios se desarrollan en la planificación de la validación.

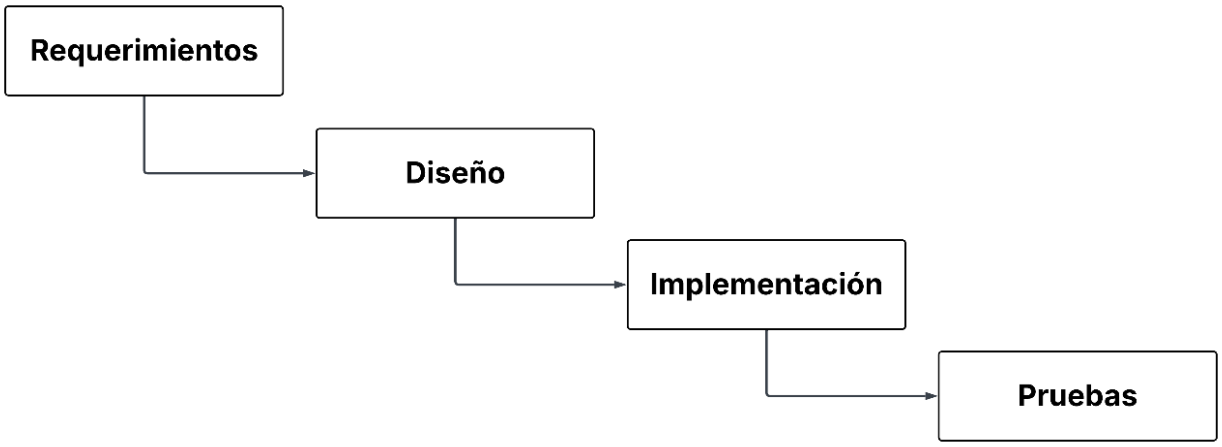
En la fase de implementación se desarrollaron, configuraron e integraron los componentes previstos mediante Flutter, Firebase Authentication y Cloud Firestore. Esta fase comprendió las interfaces destinadas a los perfiles autorizados y los servicios responsables de la autenticación, la gestión de trámites, el procesamiento de fotografías, la generación de documentos PDF y el registro de eventos de auditoría. La descripción de los componentes construidos se presenta en el Capítulo IV.

La fase de pruebas comprendió la ejecución de las comprobaciones definidas durante el diseño para verificar el funcionamiento de la solución, la interacción entre sus componentes, su eficiencia operativa y sus condiciones técnicas. También se consideró la observación descriptiva de la facilidad de uso con el personal del contratista. Los procedimientos, criterios esperados, evidencias y resultados se documentan en el Capítulo IV, sin asignar estados de cumplimiento a los objetivos o prácticas de COBIT 2019.

La Figura 5 representa la secuencia de las cuatro fases empleadas para desarrollar AquaTrace. La disposición escalonada permite identificar el avance desde la definición de los requerimientos hasta la comprobación del sistema.

Figura 5

Modelo en cascada aplicado al desarrollo del sistema



Nota. La figura representa la secuencia de las fases de requerimientos, diseño, implementación y pruebas empleadas en el desarrollo del sistema. Elaboración propia.

La secuencia evidencia que las decisiones de arquitectura y selección tecnológica se sustentan en requerimientos previamente definidos, mientras que las comprobaciones se planifican a partir de los componentes y criterios establecidos durante el diseño.

La Tabla 4 complementa la Figura 5 mediante la descripción de las actividades desarrolladas y del entregable correspondiente a cada fase. Su contenido permite relacionar las necesidades identificadas, la documentación del diseño, los componentes construidos y las comprobaciones previstas.

Tabla 4

Aplicación de las fases metodológicas al proyecto

Fase	**Aplicación en el proyecto**	**Entregable de la fase**
Requerimientos	Análisis del procedimiento mediante los Anexos A y B; identificación de actores, necesidades y restricciones; formulación, clasificación, priorización y trazabilidad de los requerimientos de las partes interesadas, funcionales y técnicos.	Especificación de los requerimientos de los stakeholders, funcionales y técnicos.
Diseño	Comparación de alternativas; definición de la arquitectura, los componentes funcionales, los flujos, el modelo de datos, las reglas de acceso, los reportes, la auditoría, las interfaces y la planificación de la validación.	Selección tecnológica justificada y documentación del diseño técnico del sistema.
Implementación	Desarrollo, configuración e integración de la aplicación con Flutter, Firebase Authentication, Cloud Firestore y los servicios complementarios previstos.	Código fuente, servicios configurados y componentes integrados.

Pruebas	Ejecución de pruebas funcionales y de integración, mediciones de eficiencia, verificaciones técnicas y observación descriptiva de la facilidad de uso.	Evidencias y resultados documentados en el Capítulo IV.

Nota. La tabla relaciona las actividades desarrolladas y el entregable correspondiente a cada fase de la metodología. Elaboración propia.

La correspondencia expuesta mantiene separadas la metodología de desarrollo y las referencias de COBIT 2019: la metodología establece las fases, mientras que el marco aporta orientaciones y criterios aplicables dentro de ellas.

3.2 Análisis del entorno actual

El análisis del entorno actual comprende el procedimiento empleado por el contratista para registrar, transmitir y organizar las evidencias fotográficas de las instalaciones de medidores de agua potable. Se examinaron tanto la captura realizada por el conductor en campo como la recepción, verificación y consolidación desarrolladas por la responsable administrativa. Las encuestas de los Anexos A y B permitieron caracterizar las actividades, dificultades y necesidades vinculadas con este procedimiento.

3.2.1. *Situación actual del registro de evidencias*

El procedimiento operativo analizado contempla tres evidencias fotográficas asociadas con cada trámite, correspondientes a la condición inicial del lugar de intervención, la ejecución del trabajo y el resultado obtenido. Para facilitar su descripción se emplean las denominaciones Antes, Durante y Después. Estas categorías permiten distinguir los momentos documentales que deben conservarse dentro de cada conjunto de fotografías.

Las respuestas obtenidas indican que las fotografías se capturan en campo y se envían mediante WhatsApp junto con el número de trámite (Anexo A, pregunta 3; Anexo B, pregunta 1). Aunque este medio facilita la transmisión inmediata, no establece una asociación estructurada entre las imágenes, el número de trámite, el conductor y la fecha en que fueron remitidas. El conductor calificó como muy importante la documentación de los tres momentos de la intervención (Anexo A, pregunta 7).

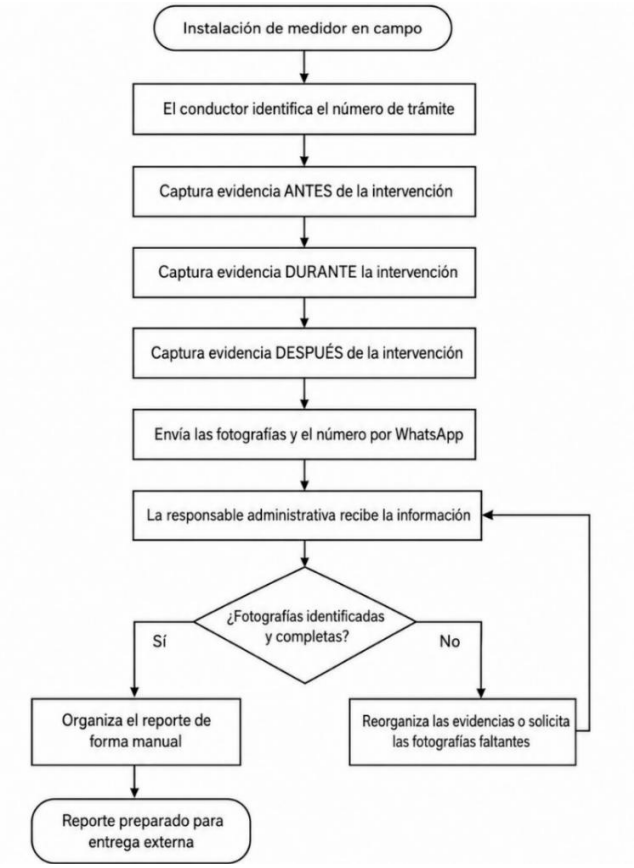
La principal dificultad identificada corresponde a la asociación y organización de las fotografías. El Anexo A señala que las evidencias quedan vinculadas correctamente con el número de trámite solo a veces (pregunta 5) y que ocasionalmente se pierden o se confunden (pregunta 6). De forma concordante, el Anexo B indica que las fotografías llegan identificadas solo a veces (pregunta 2) y que deben organizarse manualmente antes de elaborar el reporte (pregunta 3).

Cuando las evidencias están incompletas o carecen de una identificación suficiente, la responsable administrativa debe reorganizar la información o solicitar las fotografías faltantes. Estas actividades incrementan el trabajo requerido para consolidar la documentación de cada instalación.

La Figura 6 representa la secuencia manual desde la identificación del número de trámite y la captura de las evidencias hasta la verificación administrativa y la preparación del reporte.

Figura 6

Flujograma del procedimiento manual de registro y organización de evidencias



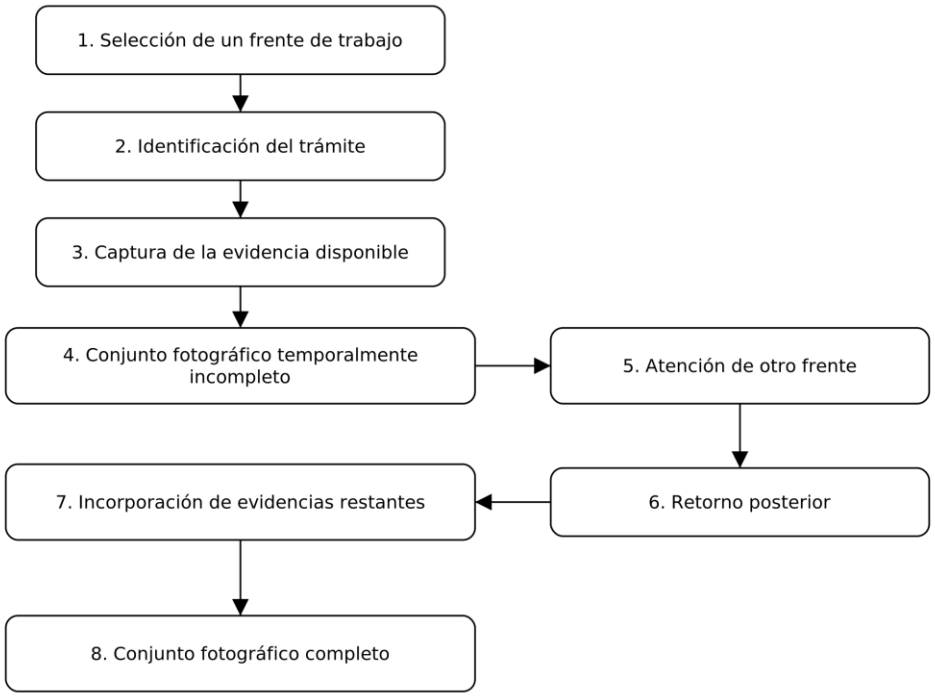
Nota. El flujograma representa el procedimiento manual identificado mediante las encuestas de los Anexos A y B. Elaboración propia.

El flujo de la Figura 6 permite identificar que la asociación y la verificación se realizan después de la captura y dependen de mensajes y archivos separados. Esta condición traslada a la responsable administrativa la tarea de reconstruir cada conjunto documental. La operación de campo tampoco sigue siempre una secuencia lineal: el Anexo A indica que el conductor trabaja frecuentemente con varios frentes de instalación (pregunta 2), por lo que un conjunto de evidencias puede permanecer incompleto mientras se atienden otras actividades. En el desarrollo del proyecto, esta condición se representa mediante el estado Pendiente.

La falta de una o más fotografías constituye el principal motivo por el cual una intervención permanece temporalmente incompleta (Anexo A, pregunta 8). A medida que la instalación avanza, el conductor incorpora las evidencias faltantes hasta reunir las tres fotografías que dan por concluido el registro. La Figura 7 representa este comportamiento no lineal y el retorno a otros frentes pendientes de completar durante la jornada.

Figura 7

Flujo no lineal del registro de evidencias en campo



Nota. La figura representa la continuidad del registro cuando un conjunto fotográfico queda temporalmente incompleto: se atiende otro frente, se retorna posteriormente y se incorporan las evidencias restantes hasta completar el conjunto. Elaboración propia.

La secuencia permite distinguir los registros temporalmente incompletos de las intervenciones concluidas. La conclusión del registro depende exclusivamente de la presencia de las tres evidencias fotográficas y no impide que el conductor atienda otros frentes durante la jornada.

3.2.2. *Levantamiento y análisis de información mediante encuestas*

Para caracterizar el procedimiento se aplicaron dos cuestionarios digitales a los perfiles directamente vinculados con el registro y la organización de las evidencias fotográficas. El Anexo A corresponde al conductor y el Anexo B a la responsable administrativa. Las preguntas se diferenciaron de acuerdo con las actividades desarrolladas por cada informante.

3.2.2.1 Encuesta aplicada al conductor

El cuestionario del Anexo A permitió examinar las condiciones en las que se realiza el registro fotográfico en campo. Las preguntas abordaron la disponibilidad de conectividad, la atención paralela de varios frentes, el medio utilizado para enviar las fotografías, la asociación con el número de trámite, la posible pérdida o confusión de imágenes y la importancia de documentar los diferentes momentos de la intervención.

También se recopiló información sobre el tiempo requerido para capturar las evidencias y las causas por las que la documentación puede permanecer incompleta durante la jornada. Las respuestas permiten caracterizar el trabajo del conductor sin generalizar los resultados hacia otros procesos u organizaciones.

3.2.2.2 Encuesta aplicada a la responsable administrativa

El cuestionario del Anexo B permitió examinar la recepción, identificación y organización de las fotografías enviadas desde campo. Las preguntas abordaron el medio utilizado para recibir

la información, la frecuencia con la que las imágenes llegan correctamente identificadas, las actividades necesarias para organizarlas y las dificultades relacionadas con números de trámite incorrectos.

También se consultaron el tiempo requerido para preparar reportes, las tareas que concentran mayor esfuerzo y las modalidades documentales empleadas. La información obtenida permite describir las actividades administrativas asociadas con la consolidación y entrega de las evidencias.

La Tabla 5 sintetiza los instrumentos aplicados, los informantes y los aspectos examinados mediante cada cuestionario.

Tabla 5

Instrumentos aplicados y aspectos examinados

Instrumento	Informante	Aspectos examinados
Anexo A: cuestionario al conductor	Conductor	Conectividad, atención de varios frentes, captura de fotografías, envío de evidencias, asociación con el número de trámite, documentación incompleta y tiempo de registro.
Anexo B: cuestionario a la responsable administrativa	Responsable administrativa	Recepción e identificación de fotografías, organización documental, corrección del número de trámite, preparación de reportes y actividades que requieren mayor tiempo.

Nota. Los cuestionarios se aplicaron a los perfiles directamente relacionados con el registro y la organización de las evidencias fotográficas del contratista. Elaboración propia.

La aplicación de instrumentos diferenciados permitió examinar por separado las actividades de campo y las tareas administrativas. Debido a que participaron dos informantes con responsabilidades específicas dentro del procedimiento, las respuestas se utilizaron como evidencia cualitativa y no como base para realizar inferencias estadísticas.

3.2.2.3 Análisis de resultados

Las respuestas obtenidas mediante los cuestionarios permitieron identificar dificultades relacionadas con la captura, la asociación, la organización y la generación documental. Los hallazgos no se interpretaron de manera aislada, sino mediante la comparación de las actividades informadas por el conductor y la responsable administrativa.

La Tabla 6 relaciona cada hallazgo con la evidencia obtenida y con la implicación que deberá considerarse posteriormente durante la formulación de los requerimientos y el diseño de la solución.

Tabla 6

Hallazgos del procedimiento actual e implicaciones para la formulación de requerimientos

Hallazgo	**Evidencia obtenida**	**Implicación para la formulación de requerimientos**
Uso de un canal no especializado	Anexo A, P3: WhatsApp; Anexo B, P1: WhatsApp.	Se requiere un mecanismo que conserve conjuntamente las fotografías y los datos que permiten identificar el trámite.
Asociación documental insuficiente	Anexo A, P5: a veces; Anexo B, P2: a veces.	El número de trámite debe constituir el elemento principal para identificar y recuperar la documentación.
Trabajo de campo con varios frentes	Anexo A, P2: frecuentemente.	El registro debe admitir que la documentación de una intervención

Hallazgo	Evidencia obtenida	Implicación para la formulación de requerimientos
		permanezca incompleta y pueda actualizarse posteriormente.
Evidencias incompletas durante la jornada	Anexo A, P8: falta una o más fotografías.	Debe establecerse una condición que diferencie los registros incompletos de aquellos que contienen las tres evidencias.
Organización administrativa demorada	Anexo B, P4: demorada; P8: ordenar por número consume mayor tiempo.	La información debe organizarse automáticamente y permitir su consulta mediante criterios operativos.
Generación manual de reportes	Anexo B, P7: muy demorada; P9: alrededor de tres jornadas por cada cien trámites.	Se requiere automatizar la preparación de los documentos utilizados para presentar las evidencias.
Identificación limitada de la información	Anexo B, P5: rara vez se identifican el trámite, el conductor y la fecha.	Cada registro debe conservar los datos necesarios para establecer su procedencia y facilitar su consulta.
Corrección ocasional del número de trámite	Anexo B, P6: rara vez.	Debe contemplarse una operación controlada para corregir identificadores documentales incorrectos.
Necesidad de dos modalidades de reporte	Anexo B, P11: ambas con frecuencia similar.	La solución debe contemplar un documento individual y un reporte que agrupe varios trámites.

Nota. La columna Evidencia obtenida identifica la pregunta (P) y la respuesta registrada en los cuestionarios de los Anexos A y B. Elaboración propia.

Los hallazgos se concentran en tres grupos. El primero corresponde a la captura y asociación de las fotografías con el trámite; el segundo se relaciona con el manejo de conjuntos

documentales incompletos durante el trabajo con varios frentes; y el tercero comprende la organización administrativa, la consulta y la generación de reportes.

Las necesidades identificadas constituyen entradas para la definición y trazabilidad de los requerimientos, actividad relacionada con BAI02.01. Su formalización como requerimientos de las partes interesadas, requerimientos funcionales y condiciones técnicas, junto con su codificación, se desarrollan en la sección 3.3, una vez explicada la nomenclatura adoptada.

3.3 Requerimientos del sistema

Los requerimientos se formularon a partir del levantamiento de información realizado con el personal del contratista y de las necesidades identificadas en el procedimiento documental. Los criterios derivados de COBIT 2019 se incorporaron posteriormente para orientar la trazabilidad de los requerimientos, el diseño de los controles y la arquitectura de la solución, sin constituir el origen de las necesidades de los stakeholders.

Los requerimientos se organizaron mediante una nomenclatura que diferencia a los stakeholders, sus necesidades, las funciones que debe proporcionar el sistema y las condiciones técnicas y de arquitectura. Esta clasificación permite mantener la trazabilidad entre el análisis del procedimiento, las decisiones de diseño, los componentes y las validaciones previstos para el Capítulo IV.

3.3.1. *Nomenclatura de requerimientos*

La nomenclatura adoptada permite identificar el tipo y el nivel de cada elemento documentado. Se conservaron los códigos STK, STSR, SYSR y SRSH como identificadores de trazabilidad, mientras que sus denominaciones se expresan en español para mantener uniformidad

con la redacción del documento. El término stakeholder se mantiene debido a su uso técnico en la ingeniería de requisitos. La Tabla 7 presenta los códigos y su aplicación dentro del proyecto.

Tabla 7

Nomenclatura utilizada para los requerimientos

Código	Denominación	Aplicación dentro del proyecto
STK	Stakeholder	Identifica a los actores operativos, externos y académicos vinculados con el sistema y el trabajo de titulación.
STSR	Requerimiento del stakeholder	Expresa una necesidad operativa, administrativa o de control identificada para uno o varios stakeholders.
SYSR	Requerimiento funcional del sistema	Define un comportamiento verificable que debe proporcionar el sistema.
SRSH	Requerimiento técnico y de arquitectura	Establece condiciones relacionadas con la plataforma, la arquitectura, el almacenamiento, la conectividad, la seguridad y el rendimiento.

Nota. Los códigos se conservan como identificadores para mantener la trazabilidad entre los stakeholders, sus necesidades, las funciones del sistema y las condiciones técnicas de la arquitectura. Elaboración propia.

La cadena STK–STSR–SYSR/SRSH corresponde al mecanismo de trazabilidad de ingeniería de requisitos adoptado para AquaTrace y no representa la cascada de metas de COBIT 2019.

3.3.2. *Identificación de stakeholders*

Los stakeholders comprenden a los actores relacionados con el procedimiento documental del contratista y a quienes intervienen en el desarrollo académico de la propuesta tecnológica. El conductor y la responsable administrativa participan directamente en el registro, la consulta y la organización de las evidencias fotográficas. El contratista requiere disponibilidad y trazabilidad de la información generada durante las instalaciones. EMAPA-I interviene como receptor externo de los reportes, sin operar la aplicación.

El director y el asesor intervienen en la orientación académica y técnica del trabajo de titulación, mientras que el autor es responsable del análisis, el diseño, la implementación y la documentación de la solución. La Tabla 8 identifica a los stakeholders y la función que desempeñan dentro del proyecto.

Tabla 8

Stakeholders vinculados con el sistema y el proyecto académico

Código	Stakeholder	Función dentro del proyecto
STK-01	Conductor del contratista	Captura las evidencias fotográficas en campo y actualiza sus trámites mientras permanecen en estado Pendiente.
STK-02	Responsable administrativa del contratista	Gestiona, consulta y verifica la documentación de los trámites, genera reportes y administra las cuentas de usuario.
STK-03	Contratista ejecutor del servicio	Ejecuta las instalaciones y requiere disponibilidad, organización y trazabilidad de la información documental.

Código	Stakeholder	Función dentro del proyecto
STK-04	EMAPA-I	Recibe los reportes generados como evidencia documental de las instalaciones; no opera AquaTrace.
STK-05	Ing. Carlos Vásquez, MSc.	Dirección académica y orientación general del trabajo de titulación.
STK-06	Ing. Jaime Michilena, MSc.	Asesoría académica y técnica durante el desarrollo del proyecto.
STK-07	Erick Andres Quilumba Campues	Análisis, diseño, desarrollo, implementación y documentación del sistema AquaTrace.

Nota. STK-01 a STK-03 corresponden a los stakeholders vinculados con el procedimiento operativo del contratista; STK-04 representa al receptor externo de los reportes; y STK-05 a STK-07 corresponden a los actores académicos responsables de la dirección, la asesoría y el desarrollo del trabajo de titulación. Elaboración propia.

3.3.3. *Requerimientos de los stakeholders*

Los requerimientos de los stakeholders se formularon a partir de las necesidades identificadas durante el levantamiento de información y de las condiciones operativas del procedimiento documental. Cada requerimiento expresa una necesidad del proceso analizado que posteriormente se traduce en funciones verificables del sistema o en condiciones técnicas de su arquitectura. La relación con COBIT 2019 se establece después de su formulación para orientar la trazabilidad, los controles y las decisiones de diseño.

La prioridad Alta se asignó a los requerimientos indispensables para el registro de las evidencias, la consulta documental, la generación de reportes, el control de acceso y la trazabilidad de las operaciones. La prioridad Media corresponde a funciones administrativas o de

mantenimiento cuya ausencia no impide la ejecución inmediata del proceso principal, pero que resultan necesarias para la gestión sostenida del sistema.

La prioridad se estableció según el impacto del requerimiento y no únicamente por la frecuencia con la que se presenta la necesidad. Por ejemplo, aunque la corrección de un número de trámite ocurre rara vez, se clasificó como Alta debido a las consecuencias documentales que puede producir un identificador incorrecto. No se asignaron requerimientos con prioridad Baja, puesto que la especificación se limitó a necesidades operativas, administrativas y de control incluidas en el alcance funcional del sistema.

La Tabla 9 presenta los requerimientos, el stakeholder relacionado, la evidencia utilizada para su formulación y la prioridad asignada.

Tabla 9

Requerimientos de los stakeholders

Código	Requerimiento	Origen	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
STSR-01	Registrar, desde un dispositivo móvil, las tres evidencias fotográficas asociadas al número de trámite.	STK-01; Anexo A, P3 y P7.	**X**		
STSR-02	Conservar el trámite en estado Pendiente cuando falte una o más evidencias fotográficas.	STK-01; Anexo A, P2 y P8.	**X**		

Código	Requerimiento	Origen	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
STSR-03	Consultar los trámites propios y distinguir los estados Pendiente y Completado.	STK-01; Anexo A, P2 y P8.	**X**		
STSR-04	Consultar los trámites por número, estado, fecha y conductor.	STK-02; Anexo B, P5 y P8.	**X**		
STSR-05	Generar reportes PDF individuales y consolidados.	STK-02; Anexo B, P7 y P11.	**X**		
STSR-06	Corregir los números de trámite registrados incorrectamente.	STK-02; Anexo B, P6.	**X**		
STSR-07	Gestionar las cuentas de usuario del contratista.	STK-02 y STK-03; necesidad de administrar las cuentas del personal autorizado.		**X**	
STSR-08	Mantener la trazabilidad de las acciones realizadas sobre usuarios, trámites y reportes.	STK-02 y STK-03; necesidad de conservar la trazabilidad de las acciones realizadas.	**X**		

Código	Requerimiento	Origen	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
STSR-09	Controlar el acceso a las funciones mediante cuentas, roles y estado operativo.	STK-01, STK-02 y STK-03; necesidad de restringir las funciones según identidad, rol y estado de la cuenta.	**X**		
STSR-10	Permitir al administrador eliminar registros documentales incorrectos.	STK-02; necesidad de corrección documental.		**X**	

Nota. La columna Origen identifica al stakeholder relacionado y la necesidad operativa, administrativa o de control que motiva cada requerimiento. Las referencias a los Anexos A y B corresponden al levantamiento de información realizado con el personal del contratista. La relación de estas necesidades con COBIT 2019 se establece posteriormente en la sección 3.4, en la Tabla 12 y en las matrices de diseño y trazabilidad de la sección 3.5, sin que ello implique que el marco constituye el origen de la necesidad del stakeholder. La prioridad se asignó según el impacto de cada necesidad sobre la operación del sistema. Elaboración propia.

3.3.4. *Requerimientos funcionales del sistema*

Los requerimientos funcionales traducen las necesidades de los stakeholders en comportamientos verificables que debe proporcionar el sistema. Se consideran las funciones de autenticación, registro y consulta de trámites, administración de cuentas, generación de reportes y

auditoría. La generación de los eventos y la consulta administrativa de la bitácora se presentan como requerimientos distintos, debido a que corresponden a componentes y acciones diferentes.

La Tabla 10 relaciona cada requerimiento funcional con el requerimiento del stakeholder que lo origina y con la prioridad asignada.

Tabla 10

Requerimientos funcionales del sistema

Código	Requerimiento funcional	Relación	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
SYSR-01	Autenticar a los usuarios mediante correo electrónico y contraseña.	STSR-09	**X**		
SYSR-02	Recuperar el perfil del usuario y dirigirlo al módulo correspondiente según su rol y el estado de su cuenta.	STSR-09	**X**		
SYSR-03	Denegar el acceso cuando la cuenta esté suspendida o el rol registrado no sea reconocido.	STSR-09	**X**		
SYSR-04	Exigir el cambio de la contraseña temporal cuando el perfil indique que esta operación es obligatoria.	STSR-09		**X**	

Código	Requerimiento funcional	Relación	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
SYSR-05	Permitir la consulta y actualización de trámites Pendientes disponibles en la caché local y sincronizar las escrituras pendientes cuando se restablezca la conectividad.	STSR-02 y STSR-03	**X**		
SYSR-06	Permitir al conductor crear trámites propios y actualizar aquellos que permanezcan en estado Pendiente.	STSR-01 y STSR-02	**X**		
SYSR-07	Asociar al trámite tres fotografías comprimidas correspondientes a las etapas antes, durante y después de la intervención.	STSR-01	**X**		
SYSR-08	Asignar el estado Completado únicamente cuando se encuentren registradas las tres fotografías.	STSR-02	**X**		
SYSR-09	Restringir la observación a un máximo de 1000 caracteres mediante una validación en la interfaz.	STSR-01		**X**	

Código	Requerimiento funcional	Relación	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
SYSR-10	Permitir al administrador consultar los trámites mediante filtros por número, estado, fecha y conductor.	STSR-04	**X**		
SYSR-11	Permitir al administrador renombrar el número de un trámite mediante una transacción.	STSR-06	**X**		
SYSR-12	Permitir al administrador eliminar trámites registrados incorrectamente.	STSR-10		**X**	
SYSR-13	Generar un PDF individual por trámite y un reporte consolidado de acuerdo con los filtros administrativos aplicados.	STSR-05	**X**		
SYSR-14	Permitir al administrador crear cuentas y modificar su estado, y permitir a cada usuario actualizar los datos de su propio perfil.	STSR-07		**X**	

Código	Requerimiento funcional	Relación	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
SYSR-15	Registrar eventos de acceso autenticado, gestión de usuarios, trámites y reportes con la acción, los datos asociados, la marca temporal del servidor y la identificación disponible del actor.	STSR-08	**X**		
SYSR-16	Permitir al administrador consultar la bitácora mediante una vista paginada, buscar por número exacto de trámite, acción o correo exacto y abrir el detalle de cada registro.	STSR-08		**X**	

Nota. Los requerimientos se formularon de acuerdo con las funciones implementadas. La creación de un trámite nuevo se habilita cuando la interfaz detecta conectividad y consulta la existencia del número. Los trámites Pendientes previamente disponibles en la caché pueden actualizarse y mantener su escritura en cola hasta que Firestore complete la sincronización. La búsqueda de auditoría utiliza coincidencias exactas para los números de trámite y los correos, mientras que las expresiones de acción se relacionan con los códigos técnicos definidos en la bitácora. Elaboración propia.

3.3.5. *Requerimientos técnicos y de arquitectura*

Los requerimientos técnicos y de arquitectura establecen las condiciones que orientan la estructura, el almacenamiento, la seguridad, la continuidad operativa y el rendimiento del sistema.

Se formularon a partir de las necesidades operativas, los requerimientos funcionales y las restricciones del proyecto, antes de seleccionar las tecnologías utilizadas en la implementación.

Los atributos asociados se emplean como categorías descriptivas para organizar las decisiones de diseño y no como resultados de una evaluación formal basada en un modelo de calidad de software. La compatibilidad se refiere a Android, plataforma para la cual se construyó la aplicación. La Tabla 11 presenta los requerimientos técnicos y de arquitectura, el atributo relacionado y la prioridad asignada.

Tabla 11

Requerimientos técnicos y de arquitectura del sistema

Código	Requerimiento técnico y de arquitectura	Atributo	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
SRSH-01	Desarrollar una aplicación móvil para Android con interfaces diferenciadas para el conductor y el administrador dentro de una misma aplicación.	Compatibilidad y mantenibilidad	**X**		
SRSH-02	Integrar servicios administrados de autenticación y persistencia sin requerir el despliegue de un servidor propio.	Mantenibilidad operativa	**X**		

Código	Requerimiento técnico y de arquitectura	Atributo	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
SRSH-03	Conservar los datos y las fotografías comprimidas de cada trámite dentro de una unidad documental asociada directamente con su identificador.	Asociación documental	**X**		
SRSH-04	Disponer de persistencia local y sincronización como apoyo a la operación ante conectividad limitada.	Continuidad operativa		**X**	
SRSH-05	Organizar la información de usuarios, trámites y auditoría mediante estructuras lógicas diferenciadas y consultables.	Organización documental	**X**		
SRSH-06	Procesar la generación de documentos PDF fuera del hilo principal de la interfaz cuando el volumen de información lo requiera.	Capacidad de respuesta	**X**		

Código	Requerimiento técnico y de arquitectura	Atributo	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
SRSH-07	Aplicar controles de acceso del lado del backend según la identidad autenticada, el rol, el estado de la cuenta, la propiedad y el estado del trámite.	Seguridad	**X**		
SRSH-08	Registrar los eventos auditables mediante la acción, los datos asociados, la identificación disponible del actor y una marca temporal del servidor.	Trazabilidad	**X**		
SRSH-09	Disponer de documentación, SDK y paquetes compatibles con las funciones requeridas, el entorno de desarrollo y el plazo previsto para la implementación.	Viabilidad de implementación		**X**	

Nota. Elaboración propia.

3.3.6. *Trazabilidad y cobertura de los requerimientos*

La trazabilidad permite verificar que las necesidades formuladas como requerimientos de los stakeholders disponen de requerimientos funcionales y técnicos que desarrollan su contenido dentro del diseño del sistema. Para facilitar su lectura, la Tabla 12 presenta cada STSR junto con

una descripción resumida de la necesidad, los SYSR y SRSH derivados y su relación posterior con COBIT 2019. El texto completo de cada STSR se conserva en la Tabla 9.

La relación con COBIT 2019 no representa el origen de la necesidad del stakeholder. BAI02.01 se utiliza transversalmente para la definición y trazabilidad de los requerimientos, mientras que BAI03, DSS y MEA se incorporan cuando la necesidad conduce a una decisión de diseño o a un criterio específico de control. La Tabla 12 presenta esta correspondencia.

Tabla 12

Trazabilidad de los requerimientos de los stakeholders

STSR y necesidad	Requerimientos derivados	Relación con COBIT 2019
STSR-01. Registro de evidencias fotográficas	SYSR-06, SYSR-07, SYSR-09; SRSH-01, SRSH-03, SRSH-04	BAI02.01; DSS06.02
STSR-02. Manejo de trámites con evidencias incompletas	SYSR-05, SYSR-06, SYSR-08; SRSH-04	BAI02.01; DSS06.02
STSR-03. Consulta de trámites propios y sus estados	SYSR-05; SRSH-04, SRSH-05	BAI02.01; BAI03.02
STSR-04. Consulta administrativa mediante criterios de búsqueda	SYSR-10; SRSH-05	BAI02.01; BAI03.02
STSR-05. Generación de reportes PDF individuales y consolidados	SYSR-13; SRSH-06	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.05

STSR-06. Corrección del número de trámite	SYSR-11; SRSH-05	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.03; DSS06.05
STSR-07. Gestión de cuentas de usuario	SYSR-14; SRSH-02, SRSH-07	BAI02.01; DSS05.04; DSS06.03
STSR-08. Trazabilidad de las acciones realizadas	SYSR-15, SYSR-16; SRSH-05, SRSH-08	BAI02.01; DSS06.05; MEA02.01
STSR-09. Control de acceso según cuenta, rol y estado	SYSR-01 a SYSR-04; SRSH-01, SRSH-02, SRSH-07	BAI02.01; DSS05.04; DSS06.03
STSR-10. Eliminación administrativa de registros incorrectos	SYSR-12; SRSH-05	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.03; DSS06.05

Nota. BAI02.01 se aplica transversalmente a la definición y trazabilidad de los requerimientos. BAI03.02 se relaciona con el diseño detallado de los componentes que materializan determinadas necesidades. DSS05.04, DSS06.02, DSS06.03 y DSS06.05 aportan criterios específicos de identidad y acceso, procesamiento, autoridad y trazabilidad, respectivamente; MEA02.01 se relaciona con la disponibilidad de información para revisión administrativa. Estas relaciones se establecen después de formular las necesidades de los stakeholders y no representan una evaluación integral de cumplimiento de COBIT 2019. Elaboración propia a partir de ISACA (2018a, 2018b).

La correspondencia presentada abarca los diez requerimientos de los stakeholders. Cada STSR dispone de al menos un requerimiento funcional o técnico derivado que permite continuar su trazabilidad hacia el diseño del sistema. La correspondencia con la implementación y las evidencias obtenidas se documentará posteriormente en el Capítulo IV.

3.4 Criterios de diseño derivados de COBIT 2019

COBIT 2019 se empleó como marco de referencia para derivar criterios aplicables al diseño de los controles y componentes del sistema. Las prácticas seleccionadas y fundamentadas en el Capítulo II se relacionan con la gestión de identidades y accesos, el procesamiento de la información, la asignación de privilegios, la trazabilidad de los eventos y la disponibilidad de información para la revisión administrativa de los controles.

La relación transversal entre BAI02, BAI03 y las fases del ciclo de vida del sistema ya se estableció en la sección 3.1: BAI02.01 orienta la definición y la trazabilidad de los requerimientos, BAI02.02 se vincula con la comparación tecnológica desarrollada en la sección 3.5.1, BAI03.01 y BAI03.02 orientan la arquitectura y el diseño detallado por módulos, BAI03.07 orienta la planificación de la validación descrita en la sección 3.5.8, y BAI03.03, BAI03.05 y BAI03.08 continúan hacia la implementación y las pruebas documentadas en el Capítulo IV. El presente apartado se concentra en los criterios específicos de control derivados de las prácticas DSS y MEA seleccionadas.

A partir de estas prácticas se definieron criterios concretos para orientar la autenticación, la validación de los datos del trámite, la separación de responsabilidades entre perfiles, el registro de eventos y la consulta administrativa de la bitácora. La Tabla 13 presenta la correspondencia entre cada práctica, el criterio derivado y los requerimientos relacionados. La aplicación de estos criterios en los componentes del sistema se desarrolla en la sección 3.5.7 (ISACA, 2018a, 2018b).

Tabla 13

Prácticas de gestión seleccionadas y criterios específicos de control derivados

Práctica de gestión seleccionada	Criterio específico derivado	Requerimientos relacionados
DSS05.04 Gestionar la identidad del usuario y el acceso lógico	Autenticar al usuario, verificar el estado de la cuenta, dirigir el acceso según el rol, exigir el cambio de la contraseña temporal, gestionar las cuentas y registrar los eventos de acceso definidos.	SYSR-01 a SYSR-04, SYSR-14, SYSR-15, SRSH-07 y SRSH-08
DSS06.02 Controlar el procesamiento de información	Validar el número de trámite y la observación, asociar las evidencias fotográficas, comprobar su completitud y calcular el estado del trámite.	SYSR-06 a SYSR-09
DSS06.03 Gestionar roles, responsabilidades, privilegios de acceso y niveles de autoridad	Diferenciar los perfiles de conductor y administrador, aplicar restricciones según rol, propiedad y estado, y delimitar las operaciones administrativas que requieren un nivel de autoridad superior.	SYSR-02, SYSR-03, SYSR-14 y SRSH-07
DSS06.05 Asegurar la trazabilidad y la rendición de cuentas de los eventos de información	Registrar las acciones relevantes sobre trámites y reportes mediante los datos asociados, la identificación disponible del actor y la marca temporal del servidor.	SYSR-11 a SYSR-13, SYSR-15 y SRSH-08

Práctica de gestión seleccionada	Criterio específico derivado	Requerimientos relacionados
MEA02.01 Supervisar los controles internos	Conservar una bitácora revisable y proporcionar al administrador mecanismos de consulta de los eventos registrados, sin presentar esta función como supervisión automática del control interno.	SYSR-15, SYSR-16 y SRSH-08

Nota. Las denominaciones corresponden a las prácticas de gestión definidas en COBIT 2019. Los criterios derivados se limitan al alcance funcional del sistema y no representan una evaluación integral de cumplimiento o capacidad. Elaboración propia a partir de ISACA (2018a, 2018b).

3.5 Especificación técnica del sistema

La especificación técnica reúne las decisiones adoptadas para la construcción de la solución. Comprende la selección y justificación de las tecnologías, la arquitectura general, la organización modular, los flujos funcionales, el modelo de datos, los controles de acceso, la auditoría, la aplicación de los criterios derivados de COBIT 2019, las interfaces conceptuales y la trazabilidad hacia la validación.

3.5.1. *Selección y justificación tecnológica*

La selección tecnológica se realizó mediante matrices que relacionan las alternativas consideradas con los requerimientos técnicos y de arquitectura definidos previamente. La evaluación permite identificar el nivel de cumplimiento de cada alternativa y fundamentar la elección de las tecnologías utilizadas en la implementación.

Se asignó un valor de 2 cuando la alternativa permite atender directamente el requerimiento mediante funciones propias, SDK oficiales o paquetes compatibles; un valor de 1 cuando el cumplimiento requiere adaptación, configuración, integración complementaria o desarrollo adicional; y un valor de 0 cuando la alternativa no permite atender el requerimiento dentro del alcance del proyecto. El valor total corresponde a la suma de las calificaciones obtenidas, sin aplicar ponderaciones adicionales.

La puntuación no reemplaza la prioridad Alta, Media o Baja definida en las tablas de requerimientos. La prioridad expresa el impacto de una necesidad, mientras que la matriz tecnológica valora el grado en que cada alternativa puede atenderla.

La comparación se limita a las condiciones de AquaTrace, la experiencia técnica disponible y el plazo del trabajo de titulación. La puntuación expresa el ajuste de las alternativas al proyecto y no una superioridad general de una tecnología sobre otra. Esta selección atiende el primer objetivo específico, relacionado con el estudio de las herramientas tecnológicas.

3.5.1.1 Framework de desarrollo móvil

El framework de desarrollo constituye la base para construir la interfaz, organizar la navegación e integrar las funciones de captura de fotografías, compresión de imágenes, comunicación con los servicios de backend y generación de documentos PDF. Para la valoración se utilizaron cuatro requerimientos que permiten diferenciar la compatibilidad móvil, la integración con servicios administrados, el procesamiento fuera del hilo principal y la viabilidad de implementación.

La Tabla 14 presenta la evaluación de Flutter, Android nativo y React Native.

Tabla 14

Selección del framework de desarrollo móvil

Alternativa	Requerimientos evaluados				Valor total
	SRSH-01	SRSH-02	SRSH-06	SRSH-09	
Flutter	2	2	2	2	**8**
Android nativo	2	2	2	1	7
React Native	2	1	1	1	5

Cumple totalmente = 2

Cumple parcialmente = 1

No cumple = 0

Selección. Flutter obtuvo 8 puntos y se seleccionó por presentar el mayor ajuste a los requerimientos evaluados.

Nota. La valoración considera el nivel de integración y adaptación requerido para atender los requerimientos seleccionados. Elaboración propia.

Flutter y Android nativo permiten construir una aplicación para Android e integrar mecanismos de ejecución fuera del hilo principal. React Native también permite desarrollar aplicaciones Android, aunque determinadas funciones pueden requerir bibliotecas complementarias o integración con componentes nativos. Flutter presentó el mayor ajuste por su integración con el ecosistema utilizado, la disponibilidad de paquetes compatibles y la correspondencia con el entorno de desarrollo adoptado (Flutter, s. f.).

3.5.1.2 Backend y servicios administrados

El backend debía proporcionar autenticación, persistencia de datos, asociación entre el trámite y sus fotografías, operación ante conectividad limitada, control de acceso y registro de eventos. La Tabla 15 presenta la valoración de Firebase, Supabase y un backend desarrollado específicamente para la solución.

Tabla 15

Selección del backend y los servicios administrados

Alternativa	Requerimientos evaluados					Valor total
	SRSH-02	**SRSH-03**	**SRSH-04**	**SRSH-07**	**SRSH-08**	
Firebase	2	2	2	2	2	**10**
Supabase	2	1	1	2	2	8
Backend propio	0	2	1	1	1	5

Cumple totalmente = 2

Cumple parcialmente = 1

No cumple = 0

Selección. Firebase obtuvo 10 puntos y se seleccionó por integrar autenticación, persistencia documental, sincronización, reglas de acceso y marcas temporales del servidor.

Nota. La valoración considera la disponibilidad directa de los servicios requeridos y el esfuerzo adicional de adaptación o desarrollo. Elaboración propia.

Firebase obtuvo la mayor puntuación al proporcionar servicios administrados de autenticación y persistencia, soporte de caché y sincronización en Cloud Firestore, reglas de seguridad y marcas temporales asignadas por el servidor. Supabase dispone de autenticación, persistencia relacional y políticas de acceso, pero requería adaptar el modelo documental y complementar la operación local prevista. Un backend propio permitiría definir la estructura requerida, aunque demandaría construir, desplegar y mantener los servicios de autenticación, sincronización, seguridad y auditoría. Con base en la matriz, se seleccionó Firebase como plataforma de backend (Firebase, s. f.-a, s. f.-d, s. f.-e, s. f.-b, s. f.-c).

3.5.1.3 Base de datos y almacenamiento de evidencias

El almacenamiento debía conservar las fotografías asociadas con los datos del trámite y permitir su recuperación como una unidad documental. Para ello, se seleccionó Cloud Firestore y se definió el almacenamiento de las evidencias como valores binarios dentro de los campos del documento.

Firestore establece un límite de 1 MiB por documento. La aplicación comprime cada fotografía con un objetivo aproximado de 200 KiB y aplica un control preventivo de 950 KiB a la suma de las tres imágenes. El margen restante se reserva para los campos administrativos, los nombres de los campos y las marcas temporales que completan el documento. Las decisiones adoptadas para conservar las evidencias dentro de estas condiciones se detallan en la Tabla 16.

Tabla 16

Decisiones sobre la base de datos y el almacenamiento de evidencias

Decisión	Justificación
Cloud Firestore	Permite organizar la información mediante un documento por trámite y realizar consultas a partir de sus campos.
Fotografías almacenadas como Blobs	Mantiene las tres evidencias asociadas directamente con los datos administrativos del trámite.
Compresión en el cliente	Reduce las fotografías antes de solicitar la escritura, con un objetivo aproximado de 200 KiB por imagen.
Control preventivo de tamaño	Impide solicitar el guardado cuando la suma de las tres fotografías supera 950 KiB.
Marca temporal del servidor	Evita depender del reloj configurado en el dispositivo móvil.

Nota. Un documento de Cloud Firestore no puede exceder 1 MiB, equivalente a 1 048 576 bytes. El objetivo de compresión y el control preventivo se aplican en el cliente antes de solicitar la escritura. El límite comprende el documento completo y no únicamente las fotografías (Firebase, s. f.-e). Elaboración propia.

3.5.1.4 Paquetes y mecanismos principales

La aplicación utiliza paquetes y mecanismos vinculados directamente con las funciones documentadas. La Tabla 17 presenta los componentes principales y su participación dentro del sistema. Las versiones empleadas se especifican en el Capítulo IV junto con la documentación de la implementación.

Tabla 17

Tecnologías, paquetes y mecanismos principales del sistema

Tecnología / paquete	Uso dentro del sistema
firebase_auth	Autenticación de usuarios por correo y contraseña.
cloud_firestore	Persistencia de usuarios, trámites y auditoría.
image_picker	Captura o selección de fotografías.
flutter_image_compress	Compresión JPEG de las evidencias.
connectivity_plus	Detección de la conectividad de red.
pdf y printing	Construcción, vista previa y compartición de PDF.
compute / Isolate (Dart)	Procesamiento del PDF fuera del hilo principal.
firebase_core	Inicialización de los servicios de Firebase utilizados por la aplicación.
image	Procesamiento auxiliar de imágenes para el cálculo de proporciones en la composición del PDF.
url_launcher	Apertura de enlaces externos utilizados en la interfaz de ayuda.

Nota. Los paquetes se encuentran declarados en pubspec.yaml y los mecanismos de ejecución se utilizan en los módulos correspondientes. compute y los isolates corresponden a mecanismos de ejecución de Flutter y Dart, no a paquetes adicionales. connectivity_plus detecta la disponibilidad de una interfaz de red, pero no garantiza por sí mismo el acceso efectivo a Internet. La tabla presenta las dependencias principales con participación directa en las funciones documentadas y no constituye una reproducción exhaustiva del archivo pubspec.yaml. Elaboración propia.

3.5.2. *Arquitectura general*

La arquitectura lógica del sistema se organiza en tres niveles: presentación, lógica y servicios del cliente, y servicios administrados. Esta organización permite diferenciar las interfaces utilizadas por los usuarios, el procesamiento ejecutado dentro de la aplicación móvil y los servicios externos responsables de la identidad, la persistencia y el control de acceso.

La definición de los niveles arquitectónicos se relaciona con BAI03.01, debido a que establece la estructura de alto nivel de la solución. La posterior descomposición en módulos y componentes se relaciona con BAI03.02, que orienta el diseño detallado. Estas relaciones se utilizan como criterios del ciclo de vida y no implican que la arquitectura, por sí sola, represente la implementación integral de las prácticas.

Sobre estos tres niveles se distribuyen cuatro módulos funcionales: presentación e interfaces; procesamiento y lógica en el cliente; integración con servicios administrados de Firebase; y generación y salida documental. Este último se ejecuta en el cliente y se representa de forma independiente por su responsabilidad en la construcción y presentación de documentos, por lo que no constituye un cuarto nivel de infraestructura.

El nivel de presentación reúne la pantalla de inicio de sesión y las interfaces funcionales destinadas al conductor y al administrador, integradas en la aplicación móvil AquaTrace. El conductor accede a las funciones de registro y actualización de evidencias, mientras que el administrador dispone de las funciones de consulta, gestión de cuentas, generación de reportes y revisión de la bitácora.

El nivel de lógica y servicios del cliente concentra AuthService, TramiteService y AuditService, junto con las validaciones de entrada, la compresión de fotografías y la generación

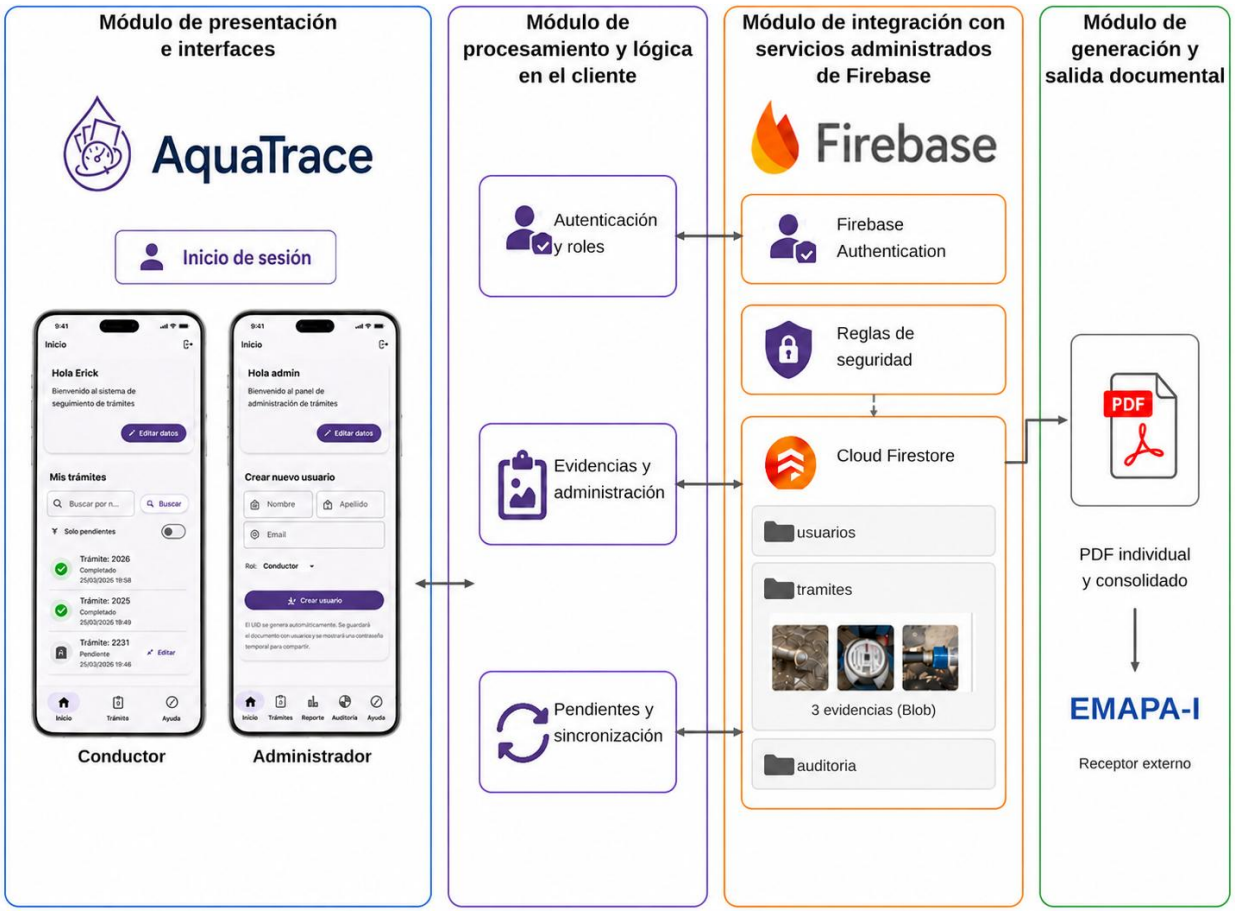
de documentos PDF. En este nivel también opera el SDK de Cloud Firestore, encargado de consultar datos disponibles en la caché local, mantener escrituras pendientes y sincronizarlas con el servicio remoto cuando se recupera la conectividad.

El nivel de servicios administrados comprende Firebase Authentication y Cloud Firestore. Firebase Authentication gestiona las credenciales y la sesión autenticada. Cloud Firestore conserva los documentos de las colecciones usuarios, tramites y auditoria, y evalúa las reglas de seguridad antes de autorizar las operaciones solicitadas por los clientes.

La salida externa de la arquitectura corresponde a los documentos PDF individuales y consolidados generados por la aplicación. El administrador puede revisar y compartir estos documentos con EMAPA-I, que interviene únicamente como receptor externo de los reportes y no accede a la aplicación ni a los servicios de Firebase. La Figura 8 representa la organización descrita.

Figura 8

Arquitectura del sistema



Nota. La arquitectura diferencia la presentación, el procesamiento y la lógica ejecutada en el cliente, y los servicios administrados de Firebase. La generación del PDF se ejecuta dentro de AquaTrace a partir de información recuperada de Firestore; EMAPA-I se representa únicamente como receptora externa de los documentos. Elaboración propia.

El diagrama de bloques detalla las responsabilidades de autenticación y enrutamiento, registro de evidencias, administración documental, persistencia, control de acceso, generación de reportes y auditoría. Las solicitudes de autenticación se procesan mediante Firebase

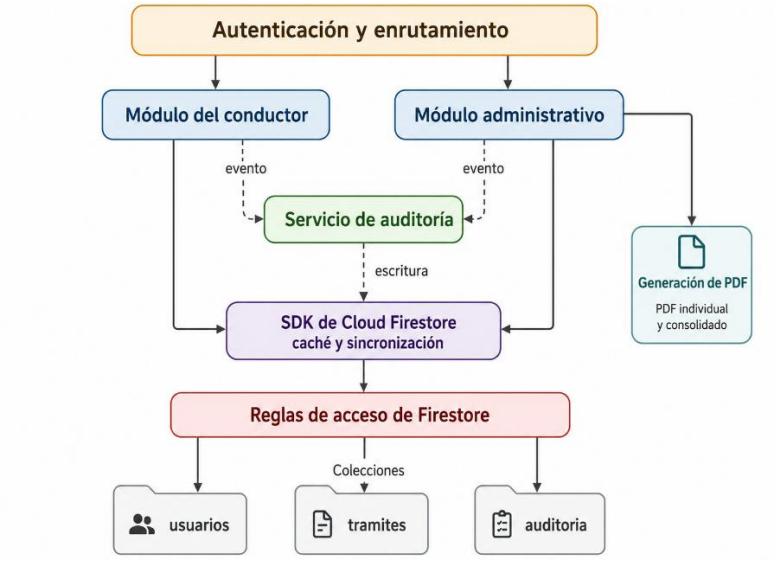
Authentication, mientras que las lecturas y escrituras dirigidas a Cloud Firestore son evaluadas por las reglas de seguridad antes de acceder a las colecciones.

Durante el registro de un trámite, el módulo del conductor valida los datos ingresados y prepara las evidencias fotográficas. TramiteService reúne la información, calcula localmente el estado del trámite y solicita la escritura documental. El SDK de Cloud Firestore permite mantener la escritura pendiente y sincronizarla cuando se recupera la conectividad. El registro de auditoría se realiza mediante una escritura independiente solicitada por AuditService. Después del guardado, _TramiteSyncWatcher escucha los cambios del documento, descarta las instantáneas provenientes de la caché o que aún contienen escrituras pendientes y espera la confirmación del servidor antes de registrar el evento de cierre. Esta separación evita atribuir la persistencia y la trazabilidad únicamente al resultado local mostrado por la interfaz.

La Figura 9 presenta la descomposición funcional de la arquitectura.

Figura 9

Diagrama de bloques funcionales del sistema



Nota. El diagrama representa la separación de responsabilidades entre las interfaces, la lógica del cliente y los servicios administrados. Las lecturas y escrituras documentales son evaluadas por las reglas de Cloud Firestore antes de alcanzar las colecciones correspondientes. Elaboración propia.

Los componentes funcionales identificados en la arquitectura, sus responsabilidades y los requerimientos relacionados se detallan en la Tabla 18.

Tabla 18

Componentes funcionales de la arquitectura

Módulo principal	**Componente funcional**	**Responsabilidad**	**Requerimientos relacionados**
Integración con Firebase	Autenticación y enrutamiento	Validar las credenciales; recuperar el perfil; comprobar el estado y el rol; dirigir al usuario al módulo correspondiente.	SYSR-01 a SYSR-04 y SRSH-07
Presentación e interfaces	Módulo del conductor	Registrar el número de trámite, las fotografías y la observación; actualizar los trámites propios mientras permanezcan Pendientes.	SYSR-06, SYSR-07 y SYSR-09
Presentación e interfaces	Módulo administrativo	Consultar y filtrar trámites; corregir números; eliminar registros incorrectos; gestionar	SYSR-10 a SYSR-12, SYSR-14 y SYSR-16

Módulo principal	Componente funcional	Responsabilidad	Requerimientos relacionados
		cuentas; generar reportes y consultar la bitácora.	
Integración con Firebase	Persistencia documental	Almacenar los documentos de usuarios, trámites y auditoría en las colecciones de Cloud Firestore.	SRSH-03 y SRSH-05
Integración con Firebase	Reglas de Cloud Firestore	Autorizar o denegar las operaciones según la identidad autenticada, el rol, el estado de la cuenta, la propiedad y las condiciones del recurso.	SRSH-07
Generación y salida documental	Reportes PDF	Construir documentos individuales y consolidados a partir de los trámites seleccionados y de los filtros aplicados.	SYSR-13 y SRSH-06
Integración con Firebase	Auditoría	Solicitar el registro de los eventos definidos y permitir su consulta mediante la bitácora administrativa.	SYSR-15, SYSR-16 y SRSH-08

Nota. Los componentes se agrupan bajo su módulo principal, entendido como la ubicación predominante de su responsabilidad y no como una asignación exclusiva. Determinados

requerimientos y criterios derivados de COBIT 2019 se manifiestan de forma transversal en más de un módulo. La seguridad, la persistencia, la sincronización y la auditoría atraviesan la arquitectura y no constituyen un quinto módulo independiente. Elaboración propia.

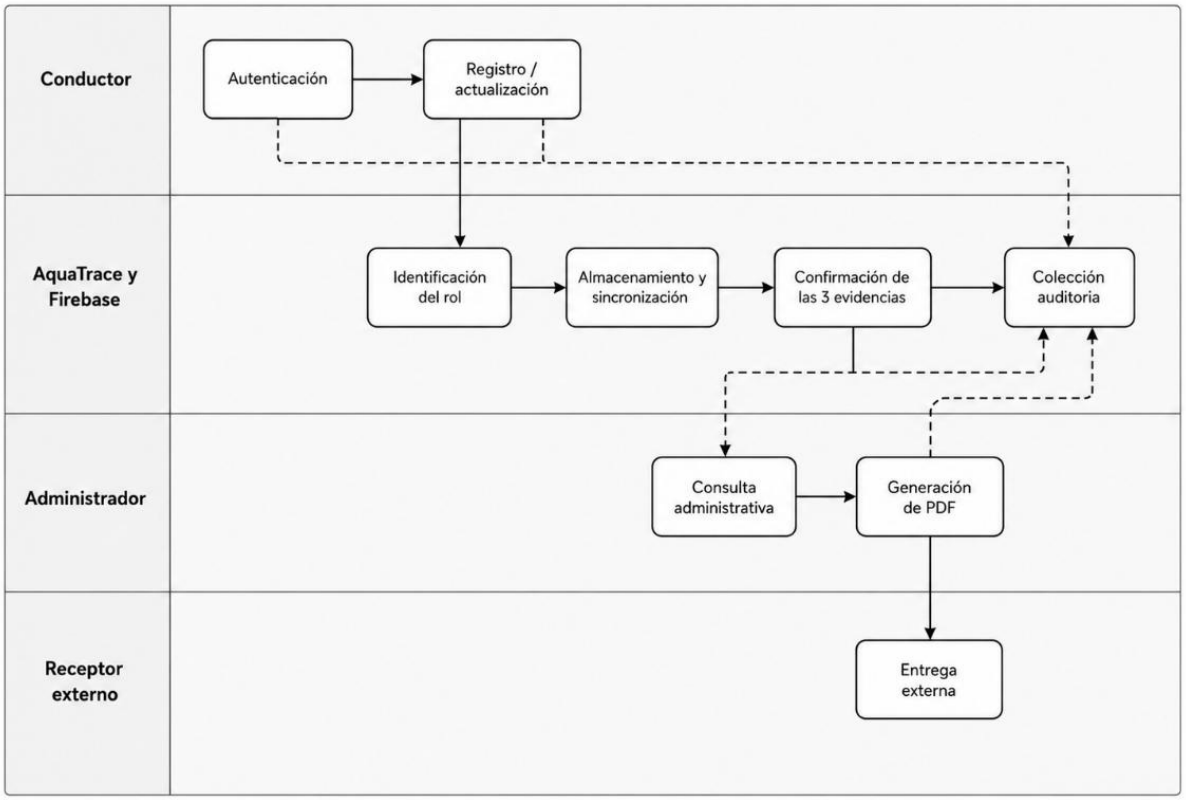
3.5.2.1 Flujo transversal de gestión de evidencias

Los flujos funcionales se representan mediante flujogramas debido a las decisiones y caminos alternativos que intervienen en las operaciones del sistema. La sincronización se documenta mediante un diagrama de secuencia para diferenciar la escritura local de la confirmación proporcionada por el servidor.

La representación conjunta permite relacionar las acciones de los usuarios con el procesamiento ejecutado en AquaTrace y con los servicios administrados utilizados para conservar la información. La Figura 10 sintetiza este recorrido transversal desde la autenticación y el registro de evidencias hasta la consulta administrativa, la generación documental y la entrega externa del reporte.

Figura 10

Flujo general de gestión de evidencias por carriles



Nota. El diagrama por carriles ubica al conductor, a AquaTrace con los servicios de Firebase, al administrador y al receptor externo. La identificación del rol antecede al acceso a las funciones de cada perfil, y la consulta administrativa puede realizarse sobre trámites Pendientes o Completados. Elaboración propia.

3.5.3. *Módulo de presentación e interfaces*

El módulo de presentación reúne las pantallas y los elementos de interacción que percibe cada perfil autorizado. Su diseño se relaciona con BAI03.02 porque traduce requerimientos funcionales en interfaces, navegación y mecanismos de interacción; además, determinados controles derivados de DSS05.04, DSS06.02, DSS06.03 y MEA02.01 se manifiestan en los

estados de acceso, las validaciones inmediatas, la separación visible de funciones y la consulta administrativa de auditoría. La Tabla 19 resume estas relaciones sin atribuir a la capa de presentación controles que corresponden técnicamente a otros módulos.

Tabla 19

Aplicación de COBIT 2019 en el módulo de presentación e interfaces

Relación COBIT 2019	Criterio aplicado al módulo	Requerimientos relacionados	Manifestación en el diseño
BAI03.02	Traducir los requerimientos en interfaces y elementos detallados de interacción.	SYSR-01, SYSR-02, SYSR-04, SYSR-06, SYSR-09, SYSR-10, SYSR-14, SYSR-16 y SRSH-01	Inicio de sesión, navegación por perfil, formularios, búsqueda, filtros, mensajes e interfaz de auditoría.
DSS05.04	Presentar los estados de acceso asociados con una sesión autenticada.	SYSR-01 a SYSR-04	Pantalla de ingreso, direccionamiento del acceso y continuidad hacia el cambio obligatorio de contraseña; la verificación efectiva se realiza en Firebase.

Relación COBIT 2019	Criterio aplicado al módulo	Requerimientos relacionados	Manifestación en el diseño
DSS06.02	Aplicar validaciones inmediatas sobre los datos ingresados y proporcionar retroalimentación.	SYSR-06, SYSR-07 y SYSR-09	Formulario del conductor, selección de fotografías, control de la observación de hasta 1000 caracteres y mensajes de validación.
DSS06.03	Diferenciar las funciones visibles según el perfil autorizado.	SYSR-02, SYSR-03 y SYSR-14	Interfaces separadas para conductor y administrador; las restricciones efectivas se complementan con la lógica y las reglas de Firestore.
MEA02.01	Proporcionar al administrador información disponible para revisión.	SYSR-16	Vista reciente, búsqueda, paginación y detalle de los registros de auditoría.

Nota. La tabla identifica cómo se manifiestan los criterios de COBIT 2019 en la presentación. Cuando un control requiere autenticación, autoridad o persistencia, su aplicación efectiva se complementa con el módulo de integración con Firebase. Elaboración propia a partir de ISACA (2018a, 2018b).

La navegación del conductor se organiza en tres destinos principales: Inicio, Trámite y Ayuda. La pantalla de inicio presenta el listado de trámites propios, con un campo de búsqueda

por número y un filtro que restringe la vista a los trámites en estado Pendiente. Cada elemento del listado incluye un indicador visual del estado del trámite y la fecha de la última actualización. Desde esta pantalla, el conductor accede a la edición de su perfil y al registro o la actualización de un trámite específico.

La navegación administrativa se organiza en cinco destinos: Inicio, Trámites, Reporte, Auditoría y Ayuda. La pantalla de trámites incorpora filtros combinados por número, estado, conductor y fecha, mientras que la pantalla de auditoría incorpora una búsqueda global sobre la bitácora. Los indicadores visuales distinguen el estado de cada trámite y el estado de cada cuenta de usuario, y los mensajes de confirmación o de error se presentan mediante notificaciones temporales tras cada operación.

Las pantallas de ayuda, disponibles para ambos perfiles, presentan de forma textual las recomendaciones operativas y las condiciones de uso de la aplicación. La presentación de resultados, que comprende listados, detalles de trámite y vistas previas de documentos, se diseñó para reflejar directamente la información disponible en el módulo de procesamiento y lógica en el cliente, sin ejecutar validaciones ni cálculos propios dentro de la capa de presentación.

3.5.4. *Módulo de procesamiento y lógica en el cliente*

El módulo de procesamiento y lógica concentra las operaciones que transforman las acciones del usuario en decisiones sobre los datos del trámite. BAI03.02 se relaciona con la especificación detallada de estos flujos; DSS06.02 orienta las validaciones y el procesamiento de la información; DSS06.03 se manifiesta en las comprobaciones de propiedad, estado y autoridad; y DSS06.05 se relaciona con la solicitud de eventos auditables cuando se ejecutan operaciones relevantes. La Tabla 20 resume estas relaciones.

Tabla 20

Aplicación de COBIT 2019 en el módulo de procesamiento y lógica en el cliente

Relación COBIT 2019	Criterio aplicado al módulo	Requerimientos relacionados	Manifestación en el diseño
BAI03.02	Detallar los flujos de procesamiento que materializan los requerimientos.	SYSR-05 a SYSR-12 y SRSH-04	Registro y actualización, cálculo del estado, tratamiento de conectividad limitada, consultas y operaciones administrativas.
DSS06.02	Controlar el procesamiento de la información antes de solicitar la persistencia.	SYSR-06 a SYSR-09	Validación del número y la observación, asociación y combinación de evidencias, comprobación de completitud y cálculo Pendiente/Completado.
DSS06.03	Aplicar decisiones según propiedad, estado y nivel de autoridad.	SYSR-06, SYSR-11 y SYSR-12	Comprobación del propietario y del estado para la edición; operaciones de renombrado y eliminaciones reservadas a la interfaz administrativa.

Relación COBIT 2019	Criterio aplicado al módulo	Requerimientos relacionados	Manifestación en el diseño
DSS06.05	Solicitar trazabilidad para las operaciones relevantes.	SYSR-11, SYSR-12 y SYSR-15	Solicitud de eventos de actualización, renombrado, eliminación y cierre mediante el servicio de auditoría; la persistencia se realiza en Firebase.

Nota. Las relaciones se limitan a las decisiones y flujos que se procesan en el cliente. La autorización del lado del backend y la persistencia de los eventos se documentan en el módulo de integración con Firebase. Elaboración propia a partir de ISACA (2018a, 2018b).

3.5.4.1 Registro de trámite por el conductor

El registro de evidencias se inicia con la identificación del trámite que será gestionado por el conductor. La creación de un registro nuevo requiere conectividad, debido a que la aplicación debe consultar Cloud Firestore para comprobar la disponibilidad del número antes de habilitar la captura de fotografías.

Cuando el identificador corresponde a un trámite existente, el sistema verifica que esté asociado con el conductor autenticado y que permanezca en estado Pendiente. Si se cumplen ambas condiciones, se permite completar o corregir las evidencias; cuando el trámite pertenece a otro usuario o ya se encuentra Completado, la edición se bloquea.

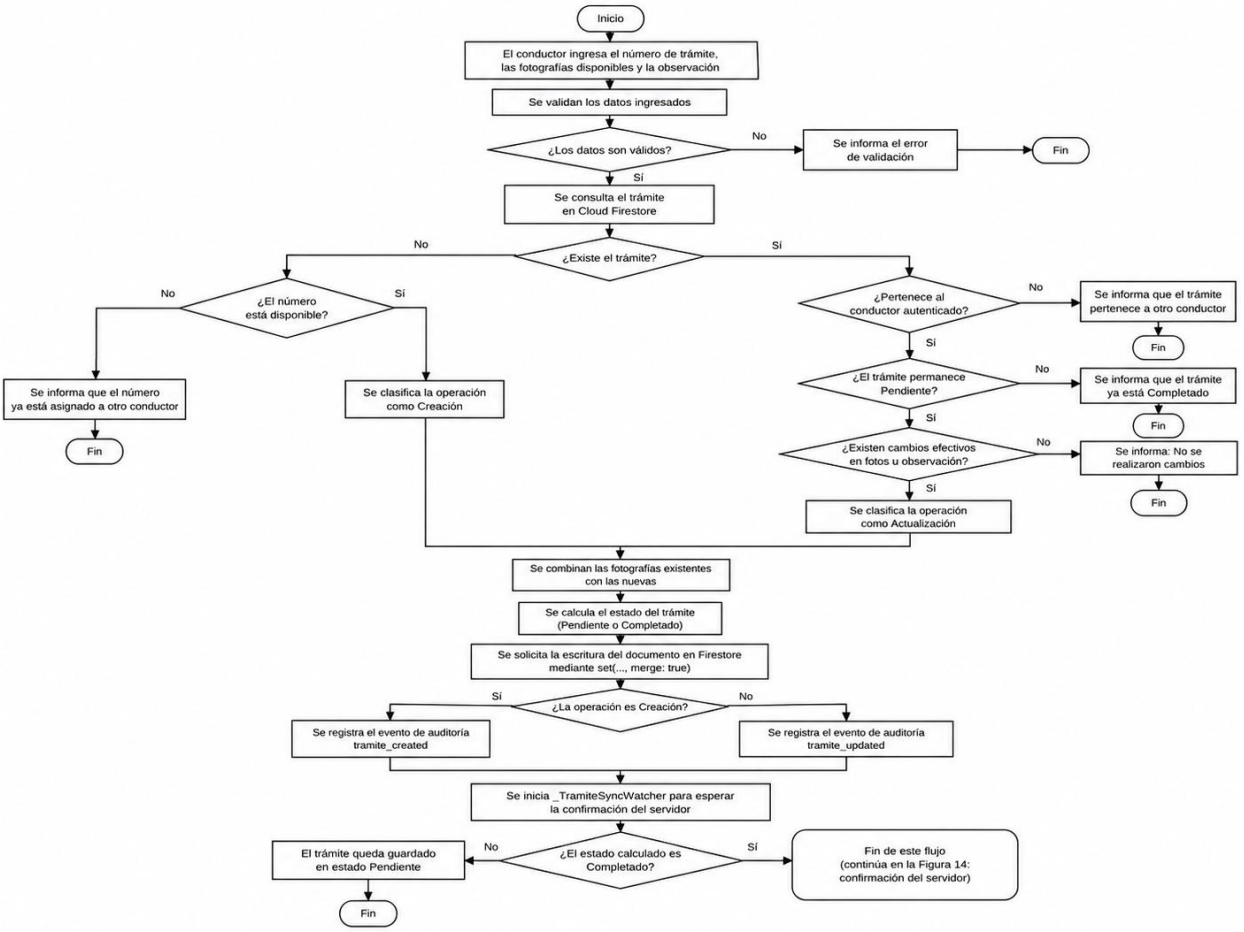
Antes de efectuar la escritura, la aplicación valida los datos ingresados y las evidencias seleccionadas. La observación se limita a un máximo de 1.000 caracteres y las fotografías se procesan antes de incorporarse al documento del trámite. Estas comprobaciones reducen la

posibilidad de almacenar información incompleta o archivos que excedan las condiciones previstas para el registro operativo.

Después de la captura o actualización de las fotografías, TramiteService combina las evidencias nuevas con aquellas que ya se encuentran almacenadas, calcula localmente el estado y solicita la escritura documental mediante set (..., merge: true). La operación conserva los datos existentes que no han sido reemplazados y actualiza únicamente los campos proporcionados. De forma independiente, AuditService solicita el registro de tramite_created o tramite_updated, según la naturaleza de la operación. La Figura 11 representa el flujo ejecutado cuando existe conectividad.

Figura 11

Flujograma de registro y actualización de evidencias con conectividad



Nota. El flujo diferencia la creación de un número disponible y la actualización efectiva de un trámite Pendiente propio. La creación solicita el registro de tramite_created y una edición efectiva solicita tramite_updated. Después del guardado, el formulario de registro inicia _TramiteSyncWatcher; el monitor solo registra tramite_completed cuando recibe una versión confirmada por el servidor que contiene las tres evidencias fotográficas. Si el conjunto permanece incompleto, el trámite conserva el estado Pendiente. Elaboración propia.

La operación sin conexión se limita a los trámites Pendientes propios que se encuentran previamente disponibles en la caché local. En esta condición no se habilita la creación de un número nuevo, porque su disponibilidad no puede verificarse frente al servicio remoto.

El conductor puede abrir un registro precargado, completar o corregir las fotografías y guardar los cambios mediante el SDK de Cloud Firestore, que mantiene la escritura pendiente hasta que se recupere la conectividad.

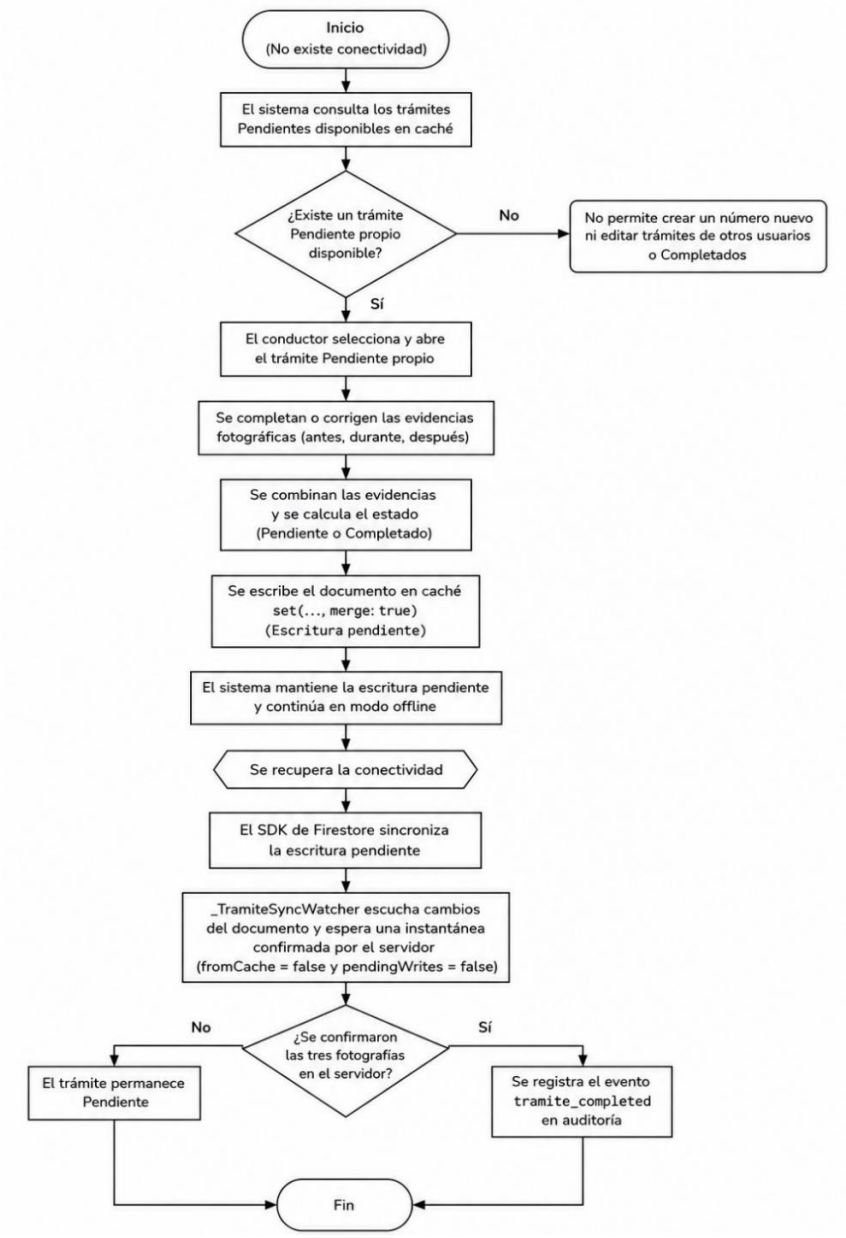
La disponibilidad previa de los registros en caché depende de la consulta realizada mientras el dispositivo mantiene conexión. Para favorecer esta operación, la aplicación precarga los trámites Pendientes asociados con el conductor y restringe la vista sin conexión a dichos registros. Esta condición evita que se presenten trámites que no pueden ser gestionados localmente y conserva el control sobre la propiedad y el estado de cada documento.

Cuando se guarda una actualización sobre un trámite disponible en caché, el SDK de Cloud Firestore puede mantener la escritura pendiente hasta recuperar la conectividad. Si el conjunto final contiene las tres fotografías, _TramiteSyncWatcher inicia el seguimiento del documento y descarta las instantáneas provenientes de la caché o que todavía contienen escrituras pendientes. Si el conjunto permanece incompleto, no se inicia el procedimiento de cierre y el trámite conserva el estado Pendiente. Cuando se restablece la comunicación, el SDK sincroniza la escritura pendiente con Cloud Firestore. El evento tramite_completed solo se solicita después de recibir una instantánea confirmada por el servidor que contiene las tres evidencias.

La Figura 12 representa la actualización de un trámite Pendiente previamente disponible en caché y diferencia la escritura local de la posterior confirmación del servidor.

Figura 12

Flujograma de actualización y sincronización de trámites Pendientes



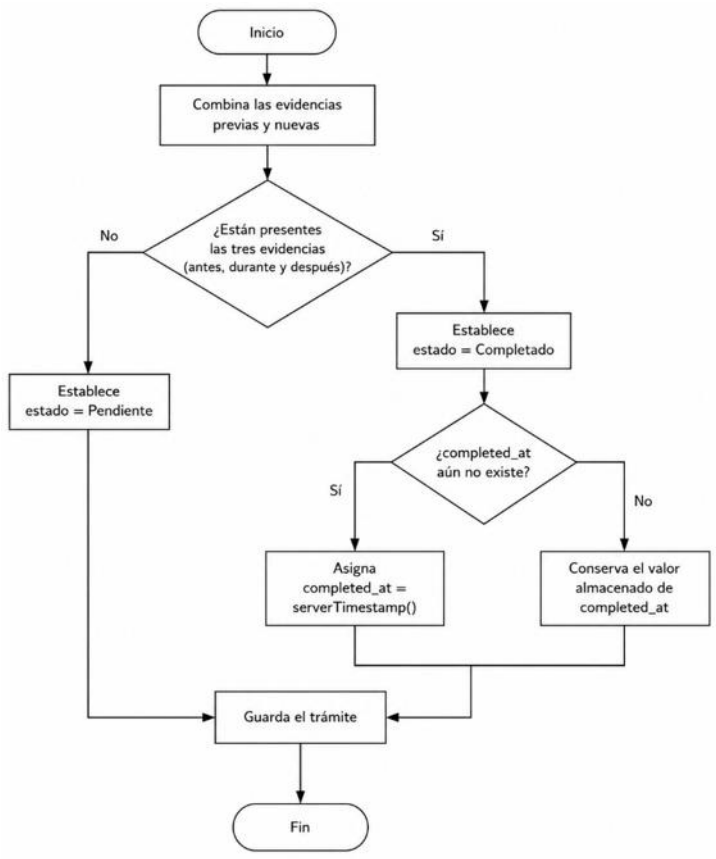
Nota. El flujo muestra la actualización de trámites Pendientes propios previamente disponibles en la caché local. La creación de registros nuevos permanece deshabilitada sin conectividad. Las escrituras se sincronizan al restablecerse la conexión y el evento tramite_completed se genera después de recibir una instantánea confirmada por el servidor. Elaboración propia.

3.5.4.2 Cálculo del estado del trámite

El estado se calcula a partir de la presencia de las tres fotografías. Si falta al menos una evidencia, permanece Pendiente; cuando las tres se encuentran disponibles, se calcula Completado. Si el guardado obtiene el estado Completado y los datos previos no contienen completed_at, se solicita una marca temporal del servidor; cuando el campo ya existe, se conserva su valor. La Figura 13 representa estas decisiones antes de solicitar la persistencia del trámite.

Figura 13

Flujograma de cálculo del estado del trámite



Nota. El estado depende exclusivamente de la existencia de las tres evidencias fotográficas: si falta al menos una, se calcula Pendiente; si están presentes las tres, se calcula Completado. La

persistencia y el tratamiento de completed_at se documentan en los flujos de guardado y confirmación remota. Elaboración propia.

3.5.4.3 Sincronización y confirmación del cierre

La escritura de un trámite puede reflejarse inicialmente en la caché local antes de ser confirmada por el servidor. Después de solicitar el guardado, _TramiteSyncWatcher inicia la escucha del documento y descarta las instantáneas que presentan escrituras pendientes o que provienen de la caché. Esta comprobación evita que el cierre del trámite se registre a partir de información todavía no sincronizada.

La separación entre el guardado local y la confirmación remota permite mantener la continuidad de la operación cuando la conectividad es inestable. Aunque la interfaz puede mostrar que los datos fueron aceptados por la aplicación, el cierre definitivo depende de la respuesta de Cloud Firestore. Por esta razón, el seguimiento permanece activo hasta obtener una versión del documento que represente el estado conservado por el servidor.

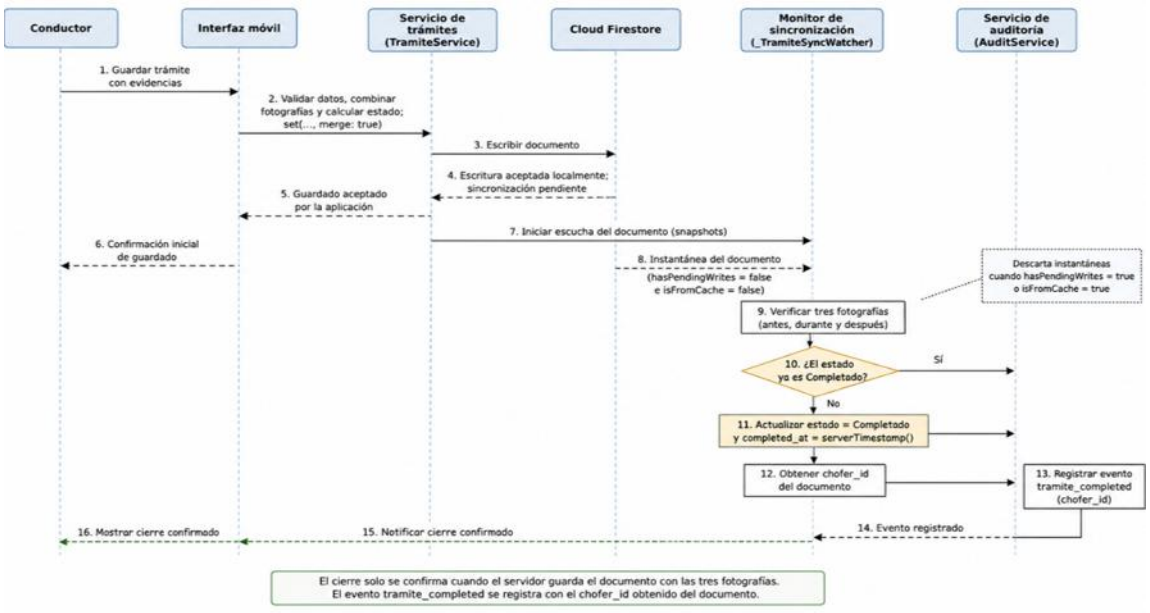
Cuando se recibe una instantánea confirmada por el servidor, el monitor verifica la presencia de las tres evidencias fotográficas. Si las fotografías de antes, durante y después están disponibles y el documento todavía no presenta el estado Completado, se actualizan el estado y el campo completed_at. Cuando el estado ya ha sido establecido durante la escritura inicial, no se repite esta actualización.

Después de verificar las evidencias, el identificador del conductor se obtiene del campo chofer_id almacenado en el propio documento. Con esta información, AuditService registra el evento tramite_completed y la interfaz notifica al conductor que el cierre ha sido confirmado.

La Figura 14 detalla la interacción entre TramiteService, Cloud Firestore, _TramiteSyncWatcher y AuditService desde la escritura local hasta la confirmación remota del estado Completado y el registro del evento asociado.

Figura 14

Diagrama de secuencia de sincronización y confirmación remota del estado Completado



Nota. La interfaz solicita el guardado mediante TramiteService y, cuando corresponde, mantiene el seguimiento del documento mediante _TramiteSyncWatcher. El monitor ignora versiones de caché o con escrituras pendientes, verifica las tres fotografías, obtiene siempre chofer_id antes de solicitar tramite_completed y solo actualiza estado y completed_at cuando la versión confirmada todavía no presenta Completado. _logged y _processing reducen repeticiones dentro de la instancia activa y no constituyen una garantía global de unicidad. Elaboración propia.

3.5.4.4 Conectividad, caché y precarga

El sistema utiliza la caché del SDK de Firestore y el estado de conectividad como apoyo operativo. Cuando la interfaz detecta red, permite verificar números nuevos y Firestore sincroniza

las escrituras con el servidor. Sin conectividad, la creación de un número nuevo no se habilita; sin embargo, un trámite Pendiente propio que ya se encuentre disponible en la caché puede actualizarse y la escritura permanece pendiente hasta recuperar la red.

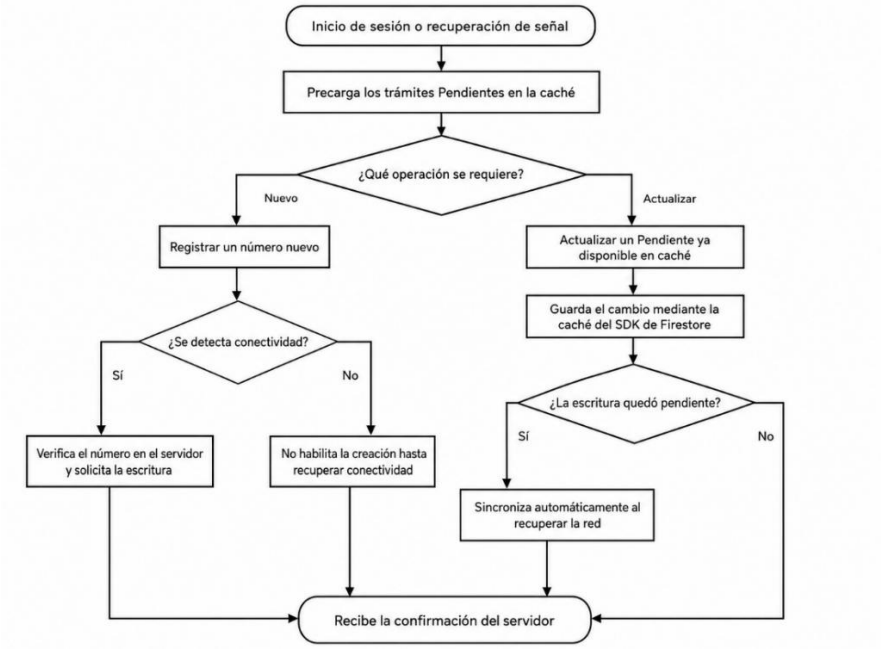
La precarga se ejecuta al iniciar la sesión y cuando se restablece la conectividad. Este proceso consulta los trámites Pendientes asociados con el conductor y favorece su disponibilidad local para una posible actualización posterior. La precarga no crea copias independientes de los documentos, sino que aprovecha el mecanismo de persistencia local administrado por el SDK de Cloud Firestore.

Durante la operación sin conexión, los cambios realizados sobre un trámite disponible en caché se conservan como escrituras pendientes. Cuando el dispositivo recupera la red, el SDK intenta sincronizarlas automáticamente con Cloud Firestore. La confirmación definitiva depende de la recepción de una instantánea sin escrituras pendientes y no proveniente de la caché, condición utilizada para diferenciar el guardado local de la información confirmada por el servidor.

La Figura 15 diferencia la consulta desde caché, la escritura pendiente y la sincronización posterior cuando se restablece la conectividad.

Figura 15

Flujograma de conectividad, caché y sincronización diferida



Nota. El flujo diferencia la verificación requerida para crear un número nuevo de la actualización de un trámite Pendiente disponible en caché, cuya escritura puede sincronizarse al recuperar la red. Elaboración propia.

3.5.4.5 Consulta administrativa

El flujo administrativo se inicia cuando el administrador selecciona uno o varios criterios de búsqueda y pulsa la opción Aplicar. Los filtros por número de trámite, estado, rango de fechas y conductor son opcionales y pueden utilizarse de manera individual o combinada. Cuando se ingresa un número exacto, se consulta directamente el documento correspondiente y se comprueba que también cumpla los demás criterios seleccionados.

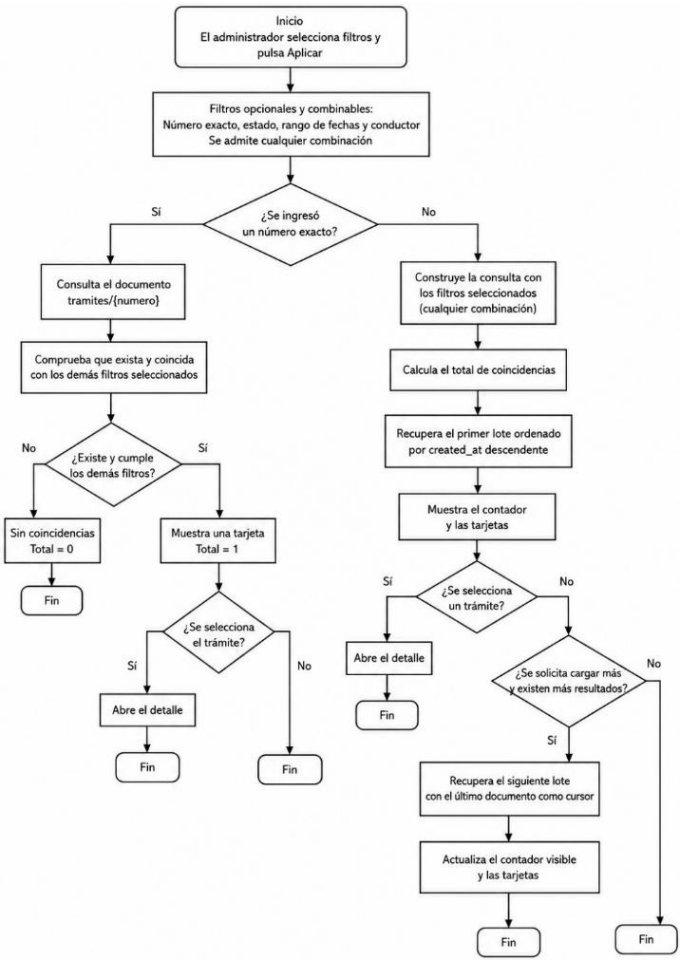
La combinación de criterios permite reducir progresivamente el conjunto de resultados sin obligar a seguir una secuencia fija de búsqueda. De este modo, el administrador puede localizar

un trámite específico, revisar únicamente los registros de un conductor, consultar trámites según su estado o delimitar la información a un periodo determinado, según la necesidad operativa.

Si no se especifica un número, se construye una consulta con la combinación de filtros activa. El sistema calcula el total de coincidencias mediante una operación independiente y recupera los documentos por lotes para presentarlos mediante tarjetas. Desde la lista, el administrador puede abrir el detalle de un trámite o solicitar la carga del siguiente lote mientras existan resultados disponibles. La Figura 16 representa este flujo.

Figura 16

Flujograma de consulta administrativa mediante filtros combinados



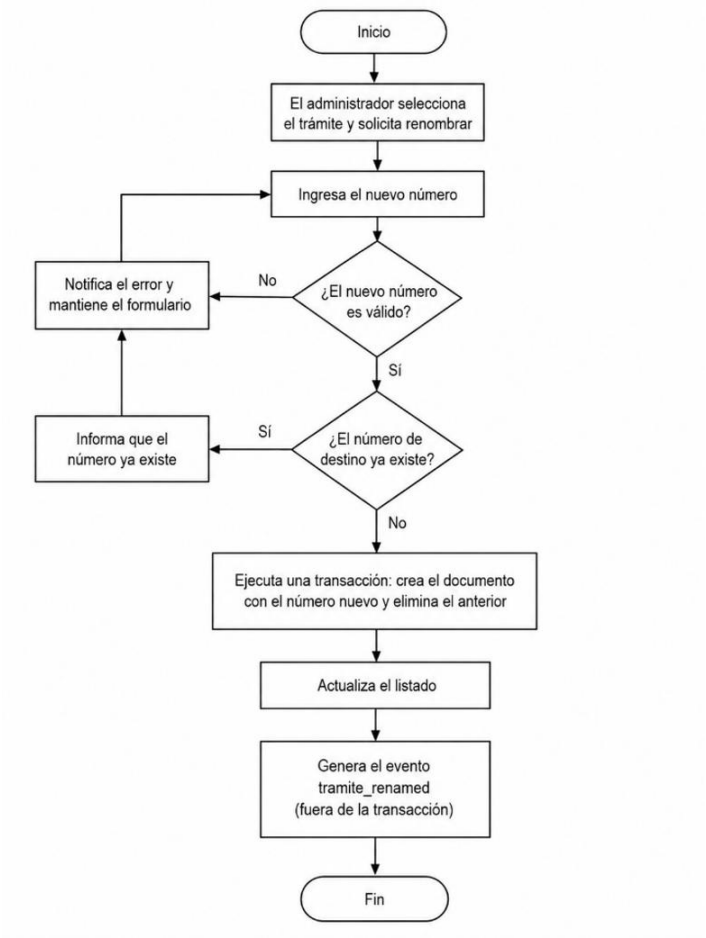
Nota. El flujo representa la aplicación individual o combinada de los filtros por número, estado, rango de fechas y conductor. La búsqueda por número comprueba los demás criterios activos, mientras que la consulta general utiliza recuperación por lotes, contador de coincidencias y acceso al detalle de cada trámite. Elaboración propia.

3.5.4.6 Renombrado administrativo del trámite

El renombrado de un trámite se reserva al perfil administrativo debido a que modifica el identificador documental utilizado para organizar la información. El proceso inicia con el ingreso del nuevo número, la validación de su formato y la comprobación de que no exista un documento previo con ese identificador. Si el número de destino se encuentra disponible, el sistema ejecuta una transacción que crea el documento con el número actualizado y elimina el documento anterior, conservando la información asociada al trámite. Después de completarse la operación principal, se actualiza el listado y AuditService solicita el registro del evento tramite_renamed. La Figura 17 representa este flujo.

Figura 17

Flujograma de renombrado administrativo del trámite



Nota. El flujo representa la validación del nuevo número, la comprobación de disponibilidad y la ejecución de una transacción que crea el documento renombrado y elimina el anterior. El evento de auditoría se genera después de la operación principal. Elaboración propia.

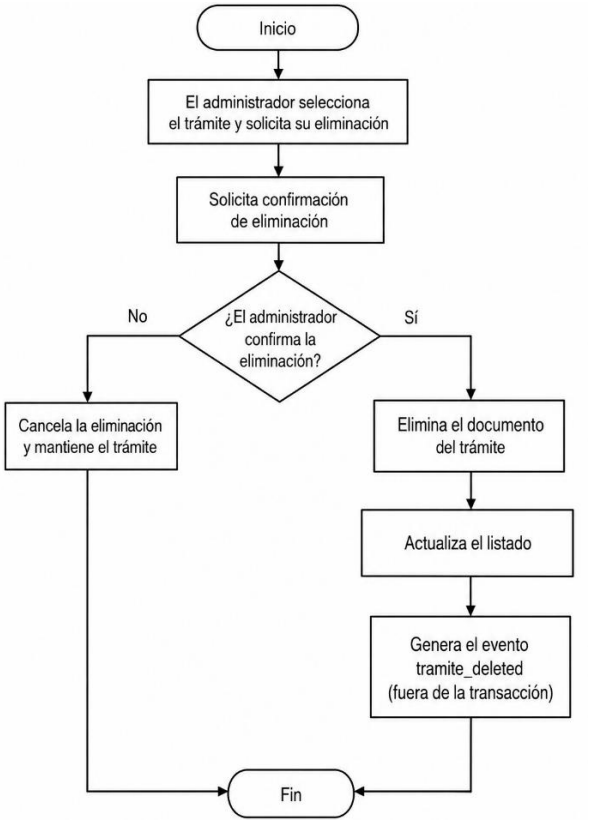
3.5.4.7 Eliminación administrativa del trámite

En la interfaz de AquaTrace, la eliminación de trámites se expone únicamente al perfil administrativo. Esta delimitación corresponde a las funciones disponibles en la aplicación; las reglas de Cloud Firestore también autorizan al propietario activo a eliminar su propio trámite mientras permanezca en estado Pendiente, capacidad que no se ofrece en el módulo del conductor.

El procedimiento administrativo inicia con la solicitud de eliminación y la confirmación explícita de la operación. Si se confirma la acción, el sistema elimina el documento, actualiza el listado visible y AuditService solicita posteriormente el registro del evento tramite_deleted. Si la confirmación se cancela, la información almacenada no se modifica. La Figura 18 representa el flujo disponible en la interfaz administrativa.

Figura 18

Flujograma de eliminación administrativa del trámite



Nota. El flujo representa la confirmación administrativa, la eliminación del documento del trámite, la actualización del listado y el registro posterior del evento tramite_deleted. La auditoría se solicita como una escritura independiente de la eliminación. Elaboración propia.

3.5.5. *Módulo de integración con servicios administrados de Firebase*

El módulo de integración con servicios administrados de Firebase concentra la autenticación, la persistencia documental, las reglas de autorización y la bitácora. BAI03.02 se relaciona con el diseño detallado de la integración; DSS05.04 con la identidad y el acceso; DSS06.03 con los roles, la propiedad y los niveles de autoridad; DSS06.05 con la trazabilidad de los eventos; y MEA02.01 con la disponibilidad de registros para revisión administrativa. La Tabla 21 resume cómo se materializan estos criterios en el módulo.

Tabla 21

Aplicación de COBIT 2019 en el módulo de integración con servicios administrados de Firebase

Relación COBIT 2019	Criterio aplicado al módulo	Requerimientos relacionados	Manifestación en el diseño
BAI03.02	Detallar la integración con servicios administrados, persistencia y autorización.	SYSR-01 a SYSR-05, SYSR-14 a SYSR-16; SRSH-02, SRSH-03, SRSH-05, SRSH-07 y SRSH-08	Firebase Authentication, perfiles, Cloud Firestore, reglas de acceso y servicio de auditoría.
DSS05.04	Gestionar identidad y acceso lógico.	SYSR-01 a SYSR-04, SYSR-14, SYSR-15, SRSH-07 y SRSH-08	Autenticación, estado de la cuenta, cambio obligatorio, revocación y eventos de acceso autenticado.

Relación COBIT 2019	Criterio aplicado al módulo	Requerimientos relacionados	Manifestación en el diseño
DSS06.03	Aplicar restricciones según rol, propiedad, estado y autoridad.	SYSR-02, SYSR-03, SYSR-06, SYSR-11, SYSR-12, SYSR-14 y SRSH-07	AuthGate, perfiles y reglas de Firestore que delimitan las operaciones autorizadas.
DSS06.05	Conservar la trazabilidad de las operaciones auditables.	SYSR-15 y SRSH-08	AuditService, colección auditoria, datos asociados al evento, actor disponible y marca temporal del servidor.
MEA02.01	Mantener información disponible para revisión administrativa.	SYSR-15, SYSR-16 y SRSH-08	Registros de auditoría consultables mediante vista reciente, búsqueda, paginación y detalle.

Nota. La tabla presenta los criterios cuya aplicación depende de los servicios administrados y de las reglas del backend. No representa una evaluación de cumplimiento integral de las prácticas. Elaboración propia a partir de ISACA (2018a, 2018b).

3.5.5.1 Gestión de cuentas de usuario

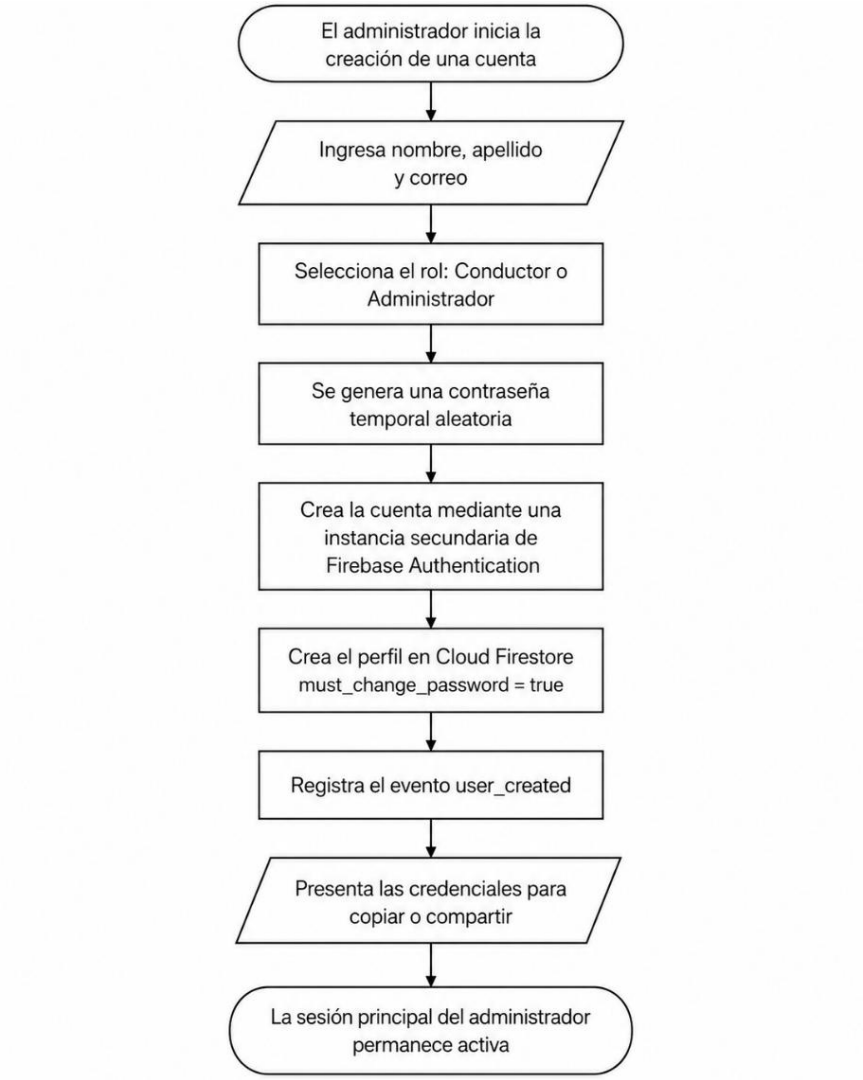
La creación de cuentas se documenta como un flujo independiente debido a una decisión técnica relevante: el registro de un nuevo usuario no debe sustituir la sesión activa del administrador. Para cumplir esta condición, el sistema emplea una instancia secundaria de Firebase Authentication, mediante la cual se crea la cuenta sin modificar la autenticación mantenida en la instancia principal.

El administrador ingresa el nombre, el apellido y el correo electrónico del nuevo usuario, y selecciona el rol de conductor o administrador. A continuación, la aplicación genera una contraseña temporal aleatoria y crea la cuenta en Firebase Authentication mediante la instancia secundaria. Con el identificador obtenido se almacena el perfil correspondiente en la colección usuarios, incluyendo el rol, el estado activo y la bandera must_change_password con valor verdadero. Esta bandera exige que el nuevo usuario sustituya la contraseña temporal durante su primer ingreso.

Una vez creado el perfil, AuditService solicita el registro del evento user_created en la colección auditoria. La aplicación presenta el identificador, el correo electrónico y la contraseña temporal para que el administrador pueda copiar o compartir las credenciales. La operación concluye sin cerrar ni reemplazar la sesión principal del administrador. La Figura 19 representa este flujo.

Figura 19

Flujograma del proceso de creación de cuentas de usuario



Nota. El flujo representa la creación de una cuenta mediante una instancia secundaria de Firebase Authentication, el almacenamiento del perfil en Cloud Firestore, la activación del cambio obligatorio de la contraseña temporal y el registro del evento de auditoría, sin sustituir la sesión principal del administrador. Elaboración propia.

La estructura de usuarios permite incorporar cuentas adicionales de conductores y administradores según las necesidades operativas del contratista. Cada trámite se asocia con el

conductor responsable mediante el campo chofer_id, mientras que los filtros administrativos permiten recuperar la información vinculada con esa relación.

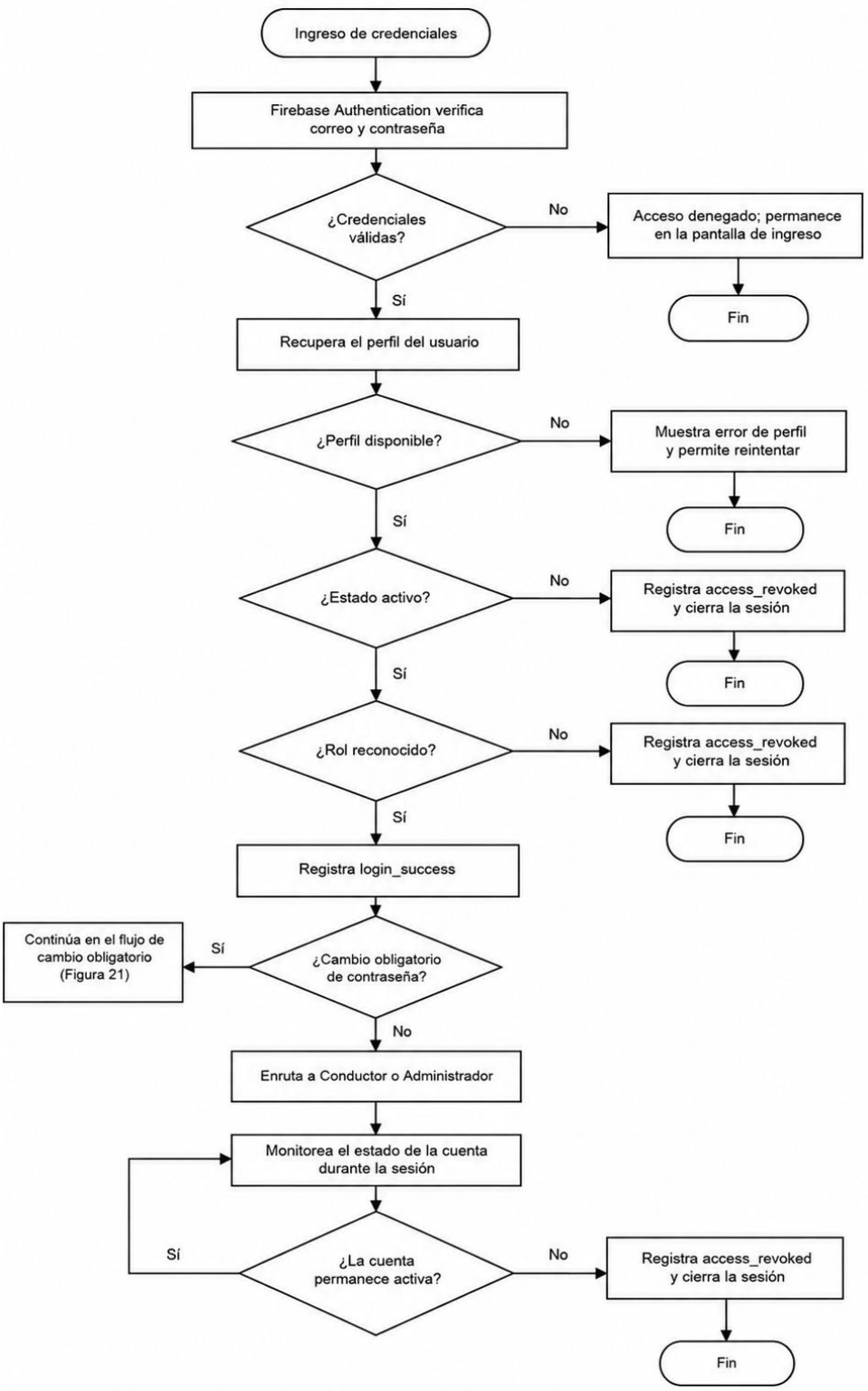
La separación entre la cuenta de autenticación y el perfil almacenado en Firestore facilita la administración del ciclo de vida de las cuentas sin sustituir la sesión principal. El administrador puede crear nuevas cuentas, modificar el estado de otras cuentas y consultar la información necesaria para su gestión, mientras que la actualización de los datos personales permitidos corresponde al propio usuario dentro de los campos autorizados por las reglas de Cloud Firestore.

3.5.5.2 Autenticación y control de acceso

El flujo inicia con la verificación de las credenciales en Firebase Authentication. Si son inválidas, el acceso se deniega y el usuario permanece en la pantalla de ingreso. Tras una autenticación válida, se solicita el perfil asociado. Si el perfil no puede recuperarse, el flujo no continúa hacia los módulos funcionales y se presenta el error correspondiente. Cuando el perfil está disponible, se comprueban el estado y el rol; una cuenta no activa o un rol no reconocido provoca el cierre de la sesión autenticada. La bandera must_change_password dirige al usuario hacia la pantalla de cambio obligatorio cuando se encuentra activa; en caso contrario, el sistema habilita el módulo correspondiente al conductor o al administrador. Durante una sesión válida, AuthGate mantiene la escucha del perfil y revoca el acceso si el estado cambia a suspendido. La Figura 20 representa esta secuencia.

Figura 20

Flujograma de autenticación y control de acceso



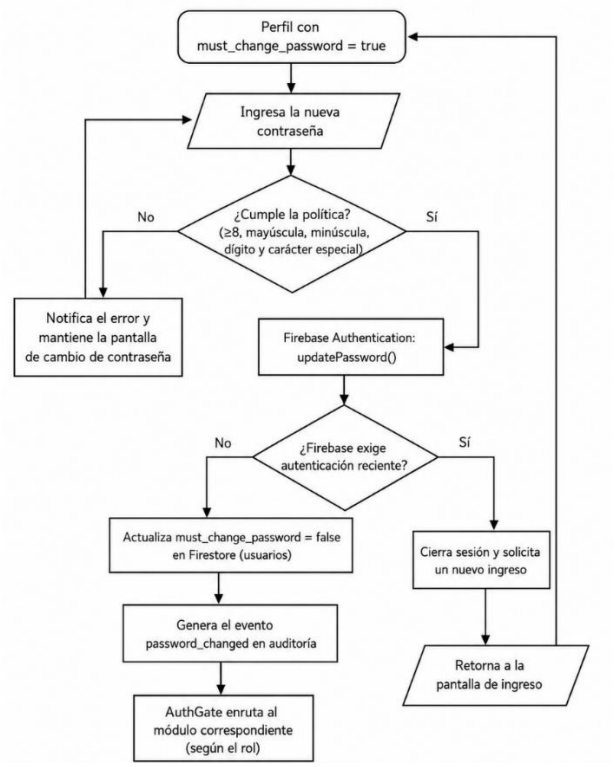
Nota. Las credenciales inválidas permanecen en la pantalla de ingreso y no generan un evento persistido en auditoría. La ausencia del documento de perfil se presenta como un error que requiere asistencia administrativa. Cuando existe una sesión autenticada, una cuenta no activa o un rol no reconocido provoca la solicitud de registro de access_revoked antes del cierre de sesión. Durante una sesión válida, AuthGate mantiene la escucha del perfil y revoca el acceso si el estado deja de ser activo. Elaboración propia.

3.5.5.3 Cambio obligatorio de contraseña

El sistema contempla credenciales temporales mediante la bandera must_change_password. Cuando se encuentra activa, se presenta la pantalla de cambio obligatorio, que exige una contraseña con al menos ocho caracteres e incluye mayúscula, minúscula, dígito y carácter especial. Tras validar la política, la contraseña se actualiza en Firebase Authentication. Si la operación requiere una autenticación reciente, la sesión se cierra y se solicita un nuevo ingreso. Cuando el cambio se completa correctamente, must_change_password se actualiza a false y AuditService solicita el registro del evento password_changed. AuthGate detecta la modificación del perfil y habilita el módulo correspondiente según el rol. La Figura 21 representa esta secuencia.

Figura 21

Flujograma de cambio obligatorio de contraseña



Nota. El flujo verifica la fortaleza, actualiza la contraseña, contempla la rama de inicio de sesión reciente, actualiza la bandera y genera el evento. Elaboración propia.

3.5.5.4 Modelo de datos NoSQL

El modelo de datos se organiza en tres colecciones NoSQL: usuarios, tramites y auditoria, que separan los datos de perfil, los documentos operativos y el historial de eventos. Cloud Firestore no establece claves foráneas entre documentos, por lo que las relaciones se implementan mediante referencias lógicas y su consistencia depende de las reglas de acceso y de las validaciones ejecutadas en la aplicación.

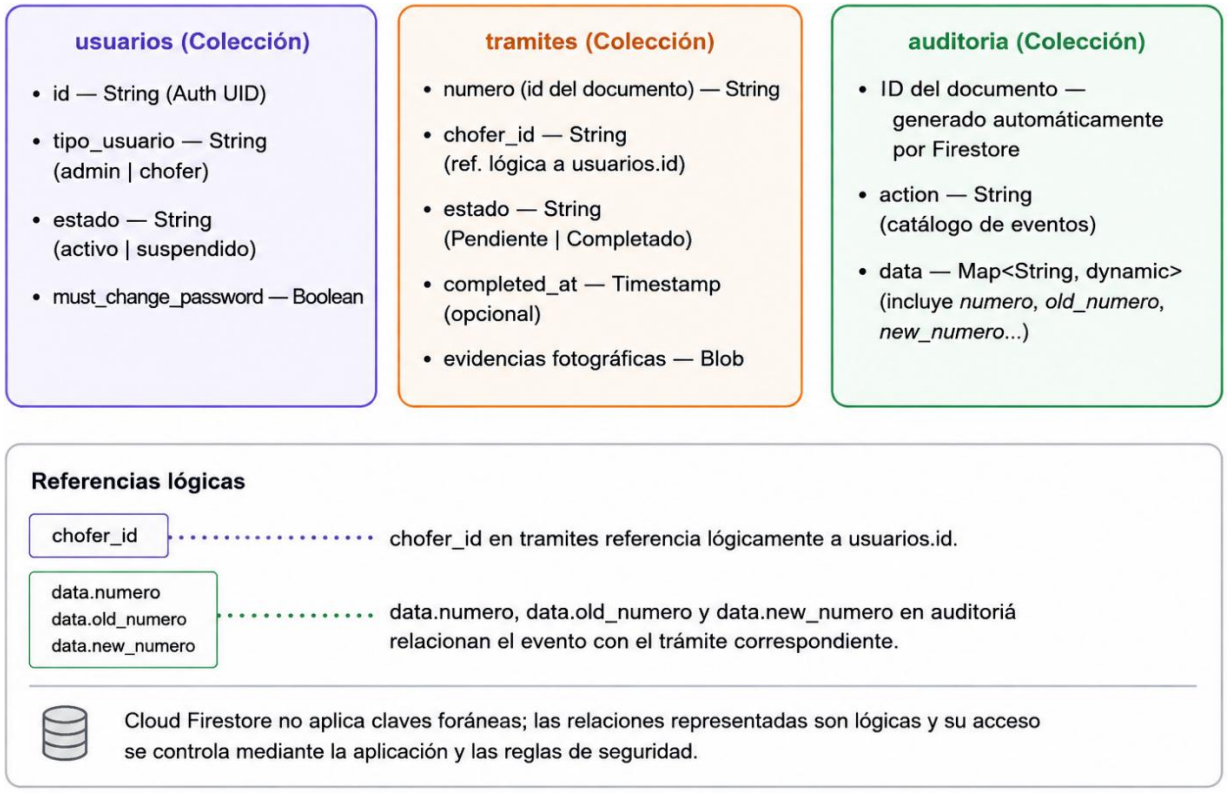
La colección usuarios conserva los datos de perfil utilizados para complementar la autenticación con el rol, el estado de la cuenta y la bandera de cambio obligatorio de contraseña.

La colección tramites integra en un mismo documento el identificador, el conductor responsable, las marcas temporales y las evidencias fotográficas almacenadas como objetos Blob. La colección auditoria registra las acciones relevantes mediante documentos independientes cuyo identificador es generado automáticamente por Cloud Firestore.

El vínculo entre un trámite y su conductor se establece mediante chofer_id, mientras que los eventos de auditoría conservan la identificación disponible del actor y, cuando corresponde, los identificadores relacionados con el trámite dentro del mapa data. La Figura 22 representa las colecciones y las referencias lógicas utilizadas por AquaTrace.

Figura 22

Modelo lógico de colecciones y referencias de AquaTrace



Nota. La figura representa los campos estructurales y las principales referencias lógicas entre las colecciones. Cloud Firestore no aplica claves foráneas; la vinculación se establece mediante los

identificadores documentales y los campos de referencia utilizados por la aplicación. Las fotografías se almacenan como objetos Blob y el estado Completado se calcula únicamente cuando existen las tres evidencias. El detalle completo de los campos persistidos se presenta en las Tablas 22 a 24. Elaboración propia.

Los campos asociados con la identidad, el rol y el estado de las cuentas se detallan en la Tabla 22 para la colección usuarios.

Tabla 22

Diccionario de datos de la colección usuarios

Campo	Tipo	Obligatoriedad	Descripción y restricciones
id	String (ID)	Sí	Identificador de Firebase Authentication; identificador del documento.
email	String	Sí	Correo de acceso. Solo lectura desde el flujo de edición de perfil.
nombre / apellido	String	Sí en el alta administrativa	Se almacenan tras limpieza de espacios. Pueden inicializarse vacíos únicamente en la rama defensiva de autocreación del perfil.
tipo_usuario	String	Sí	Rol lógico: admin o chofer. Cualquier otro valor provoca cierre de sesión.
estado	String	Sí	activo o suspendido. Cualquier valor distinto de activo revoca la sesión.
created_at	Timestamp	Sí (en creación administrativa)	Marca de creación resuelta por el servidor en el flujo administrativo habitual.

Campo	Tipo	Obligatoriedad	Descripción y restricciones
fecha_creacion	Timestamp	Solo en autocreación defensiva	Marca temporal escrita por ensureUserProfile cuando una cuenta autenticada no dispone de documento de perfil; no corresponde al flujo administrativo habitual.
updated_at	Timestamp	No	Se actualiza en cada modificación de perfil o cambio de estado.
must_change_password	Boolean	No	Cuando es true, fuerza el cambio de contraseña; se invierte a false tras un cambio exitoso.
created_by_uid created_by_email	String	Sí en creación administrativa	Identificación del administrador que creó la cuenta.

Nota. La colección usuarios controla la identidad, el rol y el estado de la cuenta. El campo fecha_creacion pertenece únicamente a la rama defensiva de autocreación del perfil. Elaboración propia.

La estructura documental utilizada para asociar cada trámite con el conductor, las marcas temporales y las evidencias fotográficas se detalla en la Tabla 23.

Tabla 23

Diccionario de datos de la colección tramites

Campo	Tipo	Obligatoriedad	Descripción y restricciones
numero	String (ID)	Sí	Identificador único del trámite y del documento.
chofer_id	String	Sí	Identificación del conductor responsable; referencia lógica a usuarios.id.

estado	String	Sí	Pendiente o Completado, según la existencia de las tres fotografías.
created_at	Timestamp	Sí (en creación)	Se establece en la creación según la existencia detectada en la caché; el flujo de edición conserva el valor previo.
updated_at	Timestamp	Sí	Actualizado por servidor en cada guardado.
completed_at	Timestamp	No	Marca temporal del servidor solicitada cuando el guardado calcula por primera vez el estado Completado y el dato previo disponible no contiene el campo; puede incorporarse como respaldo durante la confirmación remota. No funciona como control de unicidad del evento de auditoría.
observacion	String	No	Máximo de 1000 caracteres validado en la interfaz.
foto_antes_bytes foto_durante_bytes foto_despues_bytes	Blob	Según estado	Opcionales mientras el trámite permanece Pendiente y requeridas por la lógica de la aplicación para calcular Completado. Cada fotografía se comprime con un objetivo aproximado de 200 KiB; la interfaz aplica un máximo preventivo de 950 KiB a la suma de imágenes y el documento completo debe permanecer bajo 1 MiB.

Nota. El límite de 1000 caracteres se valida en la interfaz, no en el esquema de Firestore. La existencia de las tres fotografías para calcular Completado se controla mediante la lógica de la

aplicación; las reglas proporcionadas no validan esa condición campo por campo. Elaboración propia.

Los campos persistidos para conservar los eventos registrados por el servicio de auditoría se detallan en la Tabla 24.

Tabla 24

Diccionario de datos de la colección auditoria

Campo	Tipo	Obligatoriedad	Descripción y restricciones
ID del documento	String	Automático	Identificador generado por Firestore mediante add(); forma parte de la referencia documental y no se almacena como campo dentro del mapa.
action	String	Sí	Uno de los catorce valores definidos por el servicio de auditoría.
actor_uid	String	No	Identificación del actor tomada de la sesión.
actor_email	String	No	Correo del actor asociado a la sesión.
actor_nombre	String	No	Resuelto desde usuarios; ante fallo se almacena cadena vacía.
data	Map	Sí	Mapa dinámico cuyo contenido depende de la acción; puede incluir numero, old_numero y new_numero.

created_at	Timestamp	Sí	Fecha del evento resuelta por servidor, asignada en la creación. La actualización y la eliminación están denegadas desde los clientes.

Nota. El identificador del registro es generado por Firestore y no se almacena como campo del documento. Los eventos persistidos por AquaTrace corresponden a una sesión autenticada; los rechazos por credenciales inválidas se gestionan en Firebase Authentication y no se escriben en la colección auditoria. La actualización y la eliminación de la bitácora están denegadas desde los clientes. Elaboración propia.

3.5.5.5 Reglas de autorización en Cloud Firestore

El control de acceso combina las restricciones incorporadas en la interfaz con las reglas de autorización ejecutadas por Cloud Firestore. La interfaz determina las operaciones visibles para cada perfil, mientras que el servicio remoto evalúa las condiciones definidas para cada recurso antes de aceptar una lectura o escritura.

El archivo firestore.rules define seis funciones auxiliares. signedIn() comprueba la existencia de una sesión autenticada. isAdmin() exige una sesión autenticada, la existencia del perfil en usuarios, el valor admin en tipo_usuario y el estado activo de la cuenta. isActiveUser() comprueba que el perfil exista y permanezca activo. isOwnerExisting() e isOwnerCreating() verifican la propiedad de un trámite existente o nuevo, respectivamente, mientras que isPending() comprueba que el documento existente conserve el estado Pendiente.

Además, la colección usuarios utiliza validUserCreate(uid), validOwnUserUpdate() y validAdminUserUpdate(uid). La creación de un perfil solo se autoriza a un administrador activo y exige que el identificador almacenado coincida con el uid, que tipo_usuario sea admin o chofer,

que estado sea activo y que must_change_password sea true. La actualización del perfil propio requiere que la cuenta permanezca activa, limita los campos modificables a nombre, apellido, must_change_password y updated_at, y solo permite que must_change_password cambie de true a false. El cambio del estado de otra cuenta se reserva a un administrador activo, impide la modificación de su propia cuenta por esta vía y restringe el valor de estado a activo o suspendido.

En la colección usuarios, una sesión autenticada puede leer su propio perfil y un administrador activo puede consultar los perfiles requeridos para la gestión de cuentas. La eliminación de documentos se encuentra denegada desde los clientes. En la colección tramites, el conductor activo puede crear documentos asociados con su cuenta y actualizar o eliminar aquellos que continúen en estado Pendiente; durante una actualización se conservan numero y chofer_id. La lectura de un trámite propio no depende de isActiveUser() en la regla del servidor, mientras que las operaciones administrativas se autorizan mediante isAdmin(). Una sesión autenticada también puede comprobar la inexistencia de un número antes de iniciar una creación.

En la colección auditoria, cualquier sesión autenticada puede solicitar la creación de un evento; la lectura se reserva al administrador activo y las operaciones de actualización y eliminación se deniegan desde los clientes. Estas reglas controlan la autorización de las operaciones, pero no validan el catálogo de catorce acciones ni las restricciones de contenido aplicadas por la lógica del cliente. La Tabla 25 diferencia la función expuesta en la interfaz, el procesamiento ejecutado por la aplicación y la autorización aplicada por Cloud Firestore.

Tabla 25

Matriz de operaciones por interfaz, lógica del cliente y regla del servidor

Recurso u operación	Interfaz disponible	Lógica del cliente	Regla del servidor
Creación de perfil (usuarios)	Formulario administrativo de alta de cuentas.	Genera una contraseña temporal y crea la cuenta mediante una instancia secundaria de Firebase Authentication.	validUserCreate exige que el id del documento coincida con el uid, tipo_usuario en admin o chofer, estado activo y must_change_password verdadero.
Edición del perfil propio	Formulario de nombre, apellido y contraseña, disponible para ambos perfiles.	AuthService.updateProfile actualiza Firestore y, cuando corresponde, la contraseña en Firebase Authentication.	validOwnUserUpdate exige una cuenta activa, limita los campos modificables a nombre, apellido, must_change_password y updated_at, y solo permite que must_change_password pase de verdadero a falso.
Cambio de estado de otra cuenta	Alternador activo o suspendido en el listado administrativo de usuarios.	AuditService registra el evento user_status_changed.	validAdminUserUpdate impide que un administrador se modifique a sí mismo por esta vía, limita el cambio a estado y updated_at, y restringe estado a activo o suspendido.

Recurso u operación	Interfaz disponible	Lógica del cliente	Regla del servidor
Eliminación de perfiles	No disponible para ningún perfil.	No existe una función correspondiente.	La eliminación de documentos de usuarios está denegada para todas las sesiones.
Creación de trámites	El conductor registra un trámite nuevo; la interfaz administrativa no expone esta función.	TramiteService.saveOrUpdate asocia el documento con el chofer_id de la sesión activa.	Autoriza al propietario activo cuando el número coincide con el documento, y también al administrador activo, aunque esa vía no se utiliza desde la interfaz.
Actualización de trámites	El conductor edita sus propios trámites Pendientes; el administrador renombra desde el detalle administrativo.	TramiteService.saveOrUpdate para el conductor; transacción de renombrado para el administrador.	Autoriza al propietario activo cuando el trámite permanece Pendiente y el número y el chofer_id no cambian, o al administrador sin esas restricciones.
Eliminación de trámites	Disponible únicamente en el módulo administrativo.	Solicitud de borrado desde el detalle administrativo.	Autoriza al propietario activo sobre su propio trámite Pendiente y al administrador sin esa restricción; la interfaz reserva la función al perfil administrativo.

Recurso u operación	Interfaz disponible	Lógica del cliente	Regla del servidor
Lectura de trámites	El conductor consulta los propios; el administrador consulta y filtra todos.	Consultas paginadas en ambos módulos.	Autoriza al propietario, al administrador, o a una sesión autenticada que únicamente comprueba la inexistencia de un número.
Reportes PDF	Disponible únicamente en el módulo administrativo.	Construcción del documento fuera del hilo principal.	No define una regla propia; depende de la autorización de lectura de los trámites incluidos.
Creación de eventos de auditoría	No se expone como función directa; se genera junto con las operaciones auditadas.	AuditService solicita la escritura en cada operación relevante.	Autoriza la creación a cualquier sesión autenticada.
Consulta de auditoría	Vista paginada y búsqueda global en el módulo administrativo.	Consultas por los campos de data y por el tipo de acción.	Autoriza la lectura únicamente al rol administrativo.
Actualización y eliminación de auditoría	No disponible.	No existe una función correspondiente.	Denegadas para todos los clientes.

Nota. La matriz distingue la función visible en la interfaz, la lógica ejecutada en el cliente y la autorización efectiva de las reglas de Firestore. En el módulo del conductor, la interfaz concentra la creación y actualización de trámites Pendientes; la eliminación se mantiene como función del

módulo administrativo, aunque la regla del servidor también autoriza al propietario activo a eliminar su propio trámite Pendiente, de modo que esa delimitación corresponde a la interfaz y no a una prohibición de Firestore. De forma equivalente, la creación administrativa de trámites está autorizada por la regla, pero no se expone como función en el módulo administrativo. La edición del perfil propio queda limitada por validOwnUserUpdate a nivel de servidor, y no únicamente por la interfaz. Elaboración propia.

3.5.5.6 *Registro de auditoría de eventos*

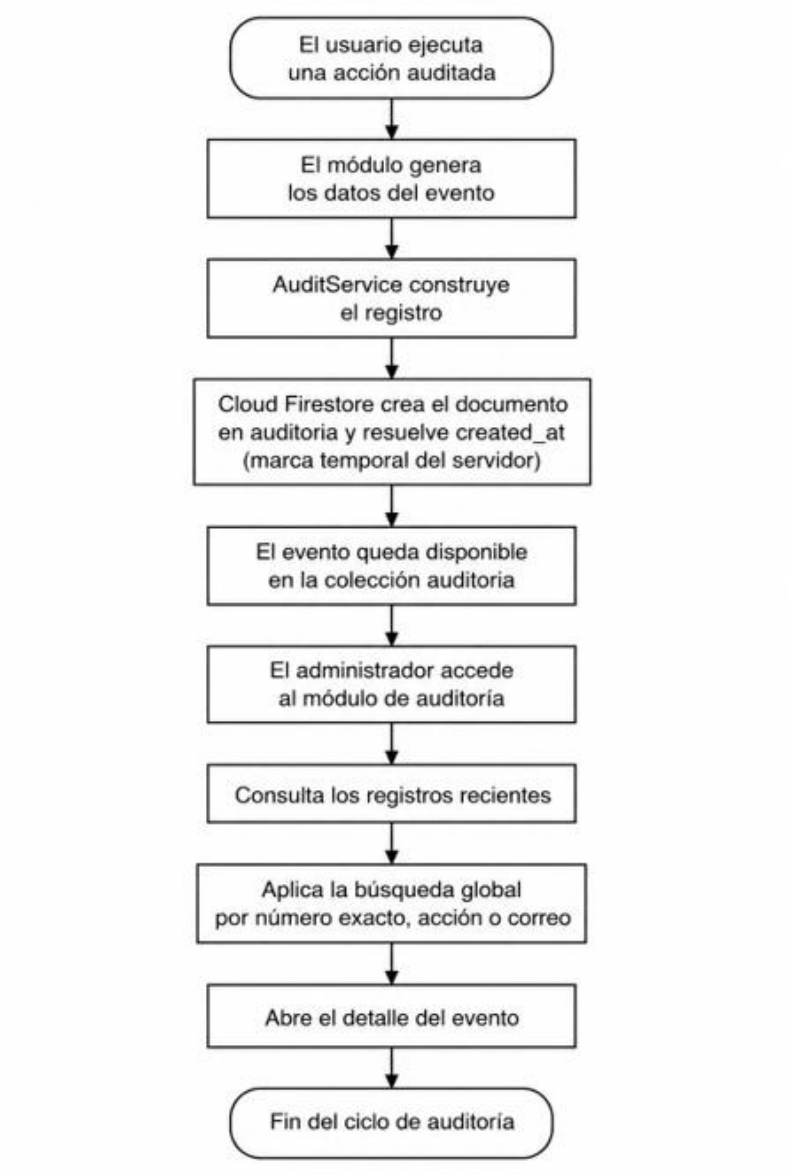
El servicio de auditoría define catorce tipos de eventos agrupados en acceso e identidad, gestión de usuarios, trámites y reportes. Cada evento persistido contiene la acción, el mapa de datos asociado, la identificación obtenida de la sesión, el nombre resuelto desde el perfil del usuario y una marca temporal asignada por el servidor. La consulta utilizada para obtener el nombre es tolerante a fallos; cuando no puede resolverse, se conserva una cadena vacía y la generación del registro continúa.

AuditService construye el documento y solicita su inserción mediante add() en la colección auditoria. Cloud Firestore genera automáticamente el identificador documental y resuelve el campo created_at con la hora del servidor. La bitácora queda disponible para el módulo administrativo, desde el cual se pueden consultar los registros recientes, aplicar la búsqueda global y abrir el detalle de un evento.

La creación de documentos en auditoria exige una sesión autenticada. Por esta razón, los rechazos derivados de credenciales inválidas no se almacenan en la colección. Aunque el servicio define el evento login_failed, su persistencia depende de que exista una sesión autenticada capaz de solicitar la escritura. La Figura 23 representa la construcción y persistencia de un evento de auditoría y su consulta posterior desde el módulo administrativo.

Figura 23

Ciclo de registro y consulta de auditoría



Nota. La figura representa la construcción del evento, su inserción en la colección auditoria, la asignación de la marca temporal del servidor y la consulta posterior desde el módulo administrativo. El registro se relaciona con SYSR-15 y la consulta con SYSR-16. Elaboración propia.

Los catorce eventos definidos por el servicio de auditoría, agrupados según su función y relacionados con las prácticas de COBIT 2019 aplicables, se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26

Grupos de eventos de la bitácora y prácticas COBIT relacionadas

Grupo	Eventos	Prácticas relacionadas
Acceso e identidad	login_success, login_failed, access_revoked, password_changed	DSS05.04 y MEA02.01
Usuarios	user_created, user_profile_updated, user_status_changed	DSS05.04, DSS06.03 y MEA02.01
Trámites	tramite_created, tramite_updated, tramite_completed, tramite_renamed, tramite_deleted	DSS06.02, DSS06.05 y MEA02.01
Reportes	tramite_pdf_export, reporte_pdf_export	DSS06.05 y MEA02.01

Nota. Los eventos aportan evidencia de las prácticas relacionadas, pero su generación no demuestra por sí sola el cumplimiento integral de una práctica. El evento login_failed está definido en el servicio; su persistencia requiere una sesión autenticada al momento de la escritura, por lo que los rechazos por credenciales inválidas no se almacenan en la colección auditoria. Se utilizan las denominaciones oficiales de COBIT 2019 (ISACA, 2018a). Elaboración propia.

3.5.5.7 *Consulta administrativa de la bitácora*

El módulo administrativo presenta los eventos recientes mediante una vista agrupada por fecha y ordenada de forma descendente según el campo created_at. La carga inicial recupera hasta veinte documentos y utiliza el último registro visible como cursor para solicitar la página siguiente, de modo que la revisión puede continuar mientras existan eventos adicionales. Esta paginación

corresponde únicamente a la vista reciente y limita la cantidad de documentos recuperados en cada consulta.

El campo de búsqueda ejecuta consultas globales directamente sobre la colección auditoria, independientemente de los registros cargados previamente en la vista paginada. Para localizar los eventos relacionados con un trámite se requiere su número exacto y se comprueban los campos data.numero, data.old_numero y data.new_numero; los dos últimos permiten conservar la trazabilidad cuando el identificador ha sido modificado mediante el renombrado administrativo. Los resultados obtenidos por las distintas consultas se integran sin duplicar documentos y se ordenan mediante la marca temporal del servidor.

El mismo campo permite buscar tipos de acción a partir de expresiones comprensibles en español, que la aplicación relaciona con los códigos técnicos almacenados en action. También admite coincidencias exactas sobre los correos del actor o del usuario involucrado y sobre los nombres conservados en el evento. Además, reconoce las denominaciones visibles de los roles y estados para relacionarlas con los valores internos chofer, admin, activo y suspendido. Por tanto, la búsqueda no se limita a los tres criterios mostrados de forma resumida en la interfaz, aunque los números de trámite y los correos requieren coincidencia exacta.

Cada tarjeta presenta la acción mediante una etiqueta legible, la hora del evento, la identificación disponible del actor y un resumen de los datos asociados. Al seleccionar un registro se abre una vista detallada con la acción, la fecha, el actor y el contenido del mapa data. La consulta de la bitácora se encuentra disponible únicamente en el módulo administrativo, mientras que la creación de los eventos se produce desde las operaciones auditadas del sistema.

3.5.5.8 *Decisiones de integridad, continuidad y volumen*

Las marcas created_at, updated_at y completed_at de los trámites, así como created_at de los registros de auditoría, se generan mediante marcas temporales del servidor. Este mecanismo evita que la secuencia de las operaciones dependa del reloj configurado en el dispositivo móvil y proporciona una referencia temporal uniforme para la consulta, el ordenamiento y la trazabilidad de los documentos. En el caso de los trámites, created_at se incorpora cuando el documento no se encuentra previamente en la caché, updated_at se renueva con cada guardado y completed_at se asocia con el registro o la confirmación del estado Completado, de acuerdo con los datos previos disponibles y con la versión confirmada por el servidor.

Las fotografías se comprimen con un objetivo aproximado de 200 KiB por imagen y se almacenan como objetos Blob dentro del documento del trámite. Antes de solicitar la escritura, la interfaz comprueba el tamaño acumulado de las evidencias e impide continuar cuando este supera 950 KiB. El margen restante se reserva para los campos textuales, identificadores y marcas temporales, con el propósito de mantener el documento por debajo del límite de 1 MiB establecido para Cloud Firestore.

La recuperación de información utiliza paginación para restringir la cantidad de documentos solicitados en cada consulta. Este criterio se aplica tanto en los listados operativos como en las vistas administrativas y evita cargar de forma simultánea todos los registros disponibles. La construcción de los documentos PDF individual y consolidado se ejecuta fuera del hilo principal, lo que reduce el bloqueo de la interfaz mientras se procesan las fotografías y se componen las páginas.

Estas decisiones también delimitan el funcionamiento cuando la conectividad no se encuentra disponible. La creación de un número nuevo requiere comprobar su disponibilidad

mediante el servicio remoto; cuando esta verificación no puede realizarse, la aplicación adopta un comportamiento conservador y no habilita el registro. La actualización sin conexión se restringe a trámites propios que permanezcan en estado Pendiente y que se encuentren previamente disponibles en la caché local. Las escrituras permanecen pendientes hasta que el SDK de Cloud Firestore recupera la comunicación con el servidor.

El reporte consolidado admite un máximo de 500 trámites por ejecución. Cuando el total supera ese valor, se solicita reducir el conjunto mediante filtros más específicos; durante la recuperación por lotes también se permite cancelar la operación antes de iniciar la construcción del archivo. Por su parte, el campo observacion admite hasta 1000 caracteres mediante una validación incorporada en la interfaz. Las reglas de Firestore controlan la identidad, el rol, la propiedad y el estado exigidos para cada operación, pero no sustituyen las validaciones de tamaño, contenido y formato aplicadas por la lógica de la aplicación.

3.5.5.9 *Recuperación administrativa de contraseña*

AquaTrace no incorpora una opción de recuperación de contraseña en la pantalla de inicio de sesión. Cuando un usuario no recuerda su credencial, debe comunicar la novedad al responsable autorizado para administrar las cuentas del sistema. Este procedimiento se ejecuta externamente mediante Firebase Authentication y no corresponde a una función desarrollada dentro de la aplicación.

El responsable autorizado identifica la cuenta mediante el correo registrado y solicita desde Firebase Console el envío del mensaje de restablecimiento. Firebase remite al usuario un enlace temporal, desde el cual se define una nueva contraseña. Una vez completado el procedimiento, el usuario puede regresar a AquaTrace e iniciar sesión con la credencial actualizada. Firebase también

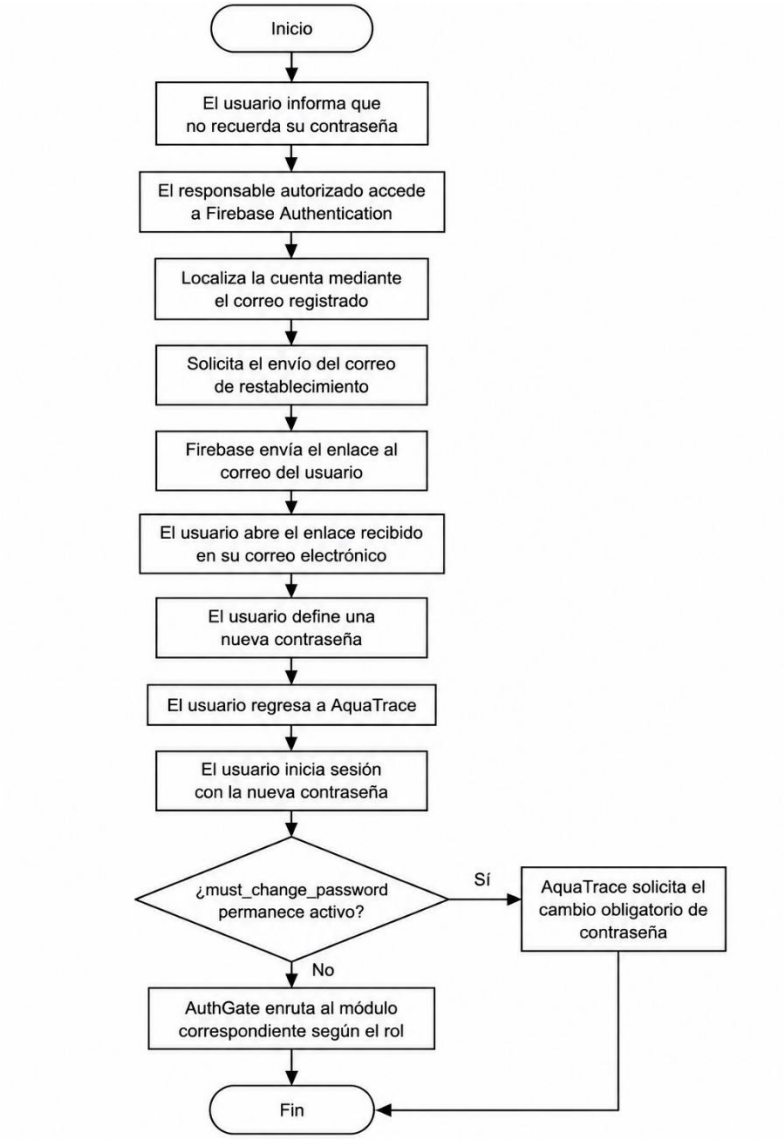
permite implementar esta operación mediante sendPasswordResetEmail(), pero dicho método no forma parte del código de la versión desarrollada.

El restablecimiento modifica la credencial administrada por Firebase Authentication, pero no altera los datos del perfil almacenados en Cloud Firestore. Por ello, el valor de must_change_password se conserva. Cuando esta bandera permanece activa, el sistema solicita nuevamente el cambio obligatorio después del ingreso; cuando su valor es false, el usuario accede al módulo correspondiente según su rol.

La operación tampoco genera un registro en la colección auditoria, debido a que se realiza fuera de AquaTrace y AuditService no define un evento específico para este procedimiento. Por la misma razón, no se incorpora un requisito SYSR adicional. La Figura 24 representa el flujo administrativo externo.

Figura 24

Flujograma del procedimiento administrativo de recuperación de contraseña



Nota. El procedimiento se ejecuta mediante Firebase Authentication y no corresponde a una función interna de AquaTrace. El envío del correo y la definición de la nueva contraseña no generan eventos en la colección auditoria ni modifican automáticamente el campo must_change_password. Elaboración propia.

3.5.6. *Módulo de generación y salida documental*

El módulo de generación y salida documental convierte la información recuperada de los trámites en documentos PDF para revisión administrativa y entrega posterior. Su diseño detallado se relaciona con BAI03.02; adicionalmente, DSS06.05 se manifiesta en la trazabilidad de las acciones de generación documental mediante los eventos técnicos definidos en la bitácora. La Tabla 27 resume estas relaciones.

Tabla 27

Aplicación de COBIT 2019 en el módulo de generación y salida documental

Relación COBIT 2019	Criterio aplicado al módulo	Requerimientos relacionados	Manifestación en el diseño
BAI03.02	Detallar el componente encargado de transformar los datos consultados en salida documental.	SYSR-13 y SRSH-06	PDF individual, reporte consolidado, preparación de datos, procesamiento fuera del hilo principal y vista previa.
DSS06.05	Mantener trazabilidad sobre la generación de documentos.	SYSR-13, SYSR-15 y SRSH-08	Eventos tramite_pdf_export y reporte_pdf_export con los datos asociados a la operación.

Nota. DSS06.05 se relaciona con la trazabilidad de la acción de generar el documento y no con la exigencia de utilizar el formato PDF. La necesidad de salida documental proviene de los requerimientos del proceso. Elaboración propia a partir de ISACA (2018a, 2018b).

3.5.6.1 Generación de PDF individual

El PDF individual se genera desde el detalle de un trámite. El sistema lee el documento, extrae las fotografías disponibles y prepara los datos necesarios para construir el archivo fuera del hilo principal. Este procesamiento evita que la interfaz quede bloqueada durante la composición del documento. Ante un error de lectura o construcción, la operación se interrumpe y se notifica al usuario.

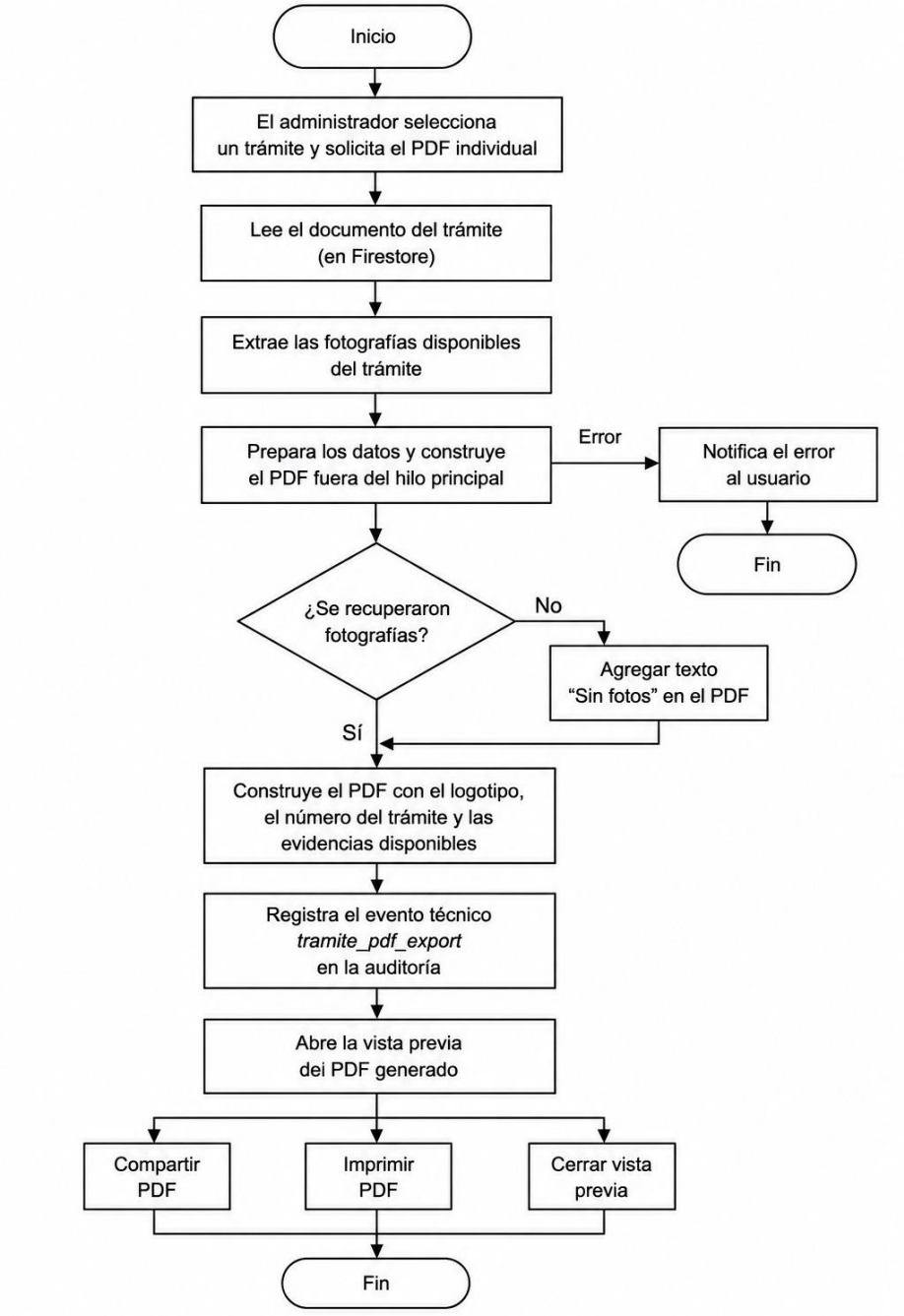
La disposición de las evidencias se adapta a la cantidad de fotografías recuperadas y a sus proporciones. Cada imagen se incorpora dentro del espacio disponible en la página sin alterar su correspondencia con el trámite consultado. El documento incluye el logotipo configurado, el número del trámite y las evidencias disponibles; cuando no se recupera ninguna fotografía, se presenta el mensaje “Sin fotos”.

La construcción a partir de los datos almacenados en el documento permite conservar la relación entre el identificador del trámite y sus evidencias fotográficas. Así, el archivo generado representa el contenido disponible al momento de la consulta y puede utilizarse como respaldo individual para la revisión administrativa o la entrega posterior del reporte correspondiente.

Una vez construido el archivo, se registra el evento técnico tramite_pdf_export, que deja constancia de la generación del documento individual. Después se abre la vista previa proporcionada por el componente de impresión, desde la cual el administrador puede revisar el contenido, compartir el archivo o enviarlo a impresión. La Figura 25 representa el flujo.

Figura 25

Flujograma de generación de PDF individual



Nota. El flujo representa la lectura del trámite, la extracción de las fotografías disponibles, la construcción del documento fuera del hilo principal, el tratamiento de errores, el registro técnico de su generación y la apertura de la vista previa. Elaboración propia.

3.5.6.2 Generación de reporte consolidado

El reporte consolidado se ejecuta a partir de los filtros administrativos seleccionados. Antes de construir el documento, se calcula el total de trámites que cumplen los criterios establecidos. Si el resultado es cero, se informa la ausencia de coincidencias; cuando el total supera el máximo de 500 registros definido en la aplicación, se solicita reducir el volumen mediante filtros más específicos. Esta validación evita iniciar un procesamiento que exceda el límite operativo previsto para una sola ejecución.

Cuando la cantidad se encuentra dentro del rango permitido, los documentos se recuperan desde Cloud Firestore en lotes. Durante esta etapa se presenta el avance de la consulta y se mantiene disponible la opción de cancelar la operación. Si se solicita la cancelación, se detiene la recuperación antes de iniciar la construcción del archivo, por lo que no se genera un reporte incompleto.

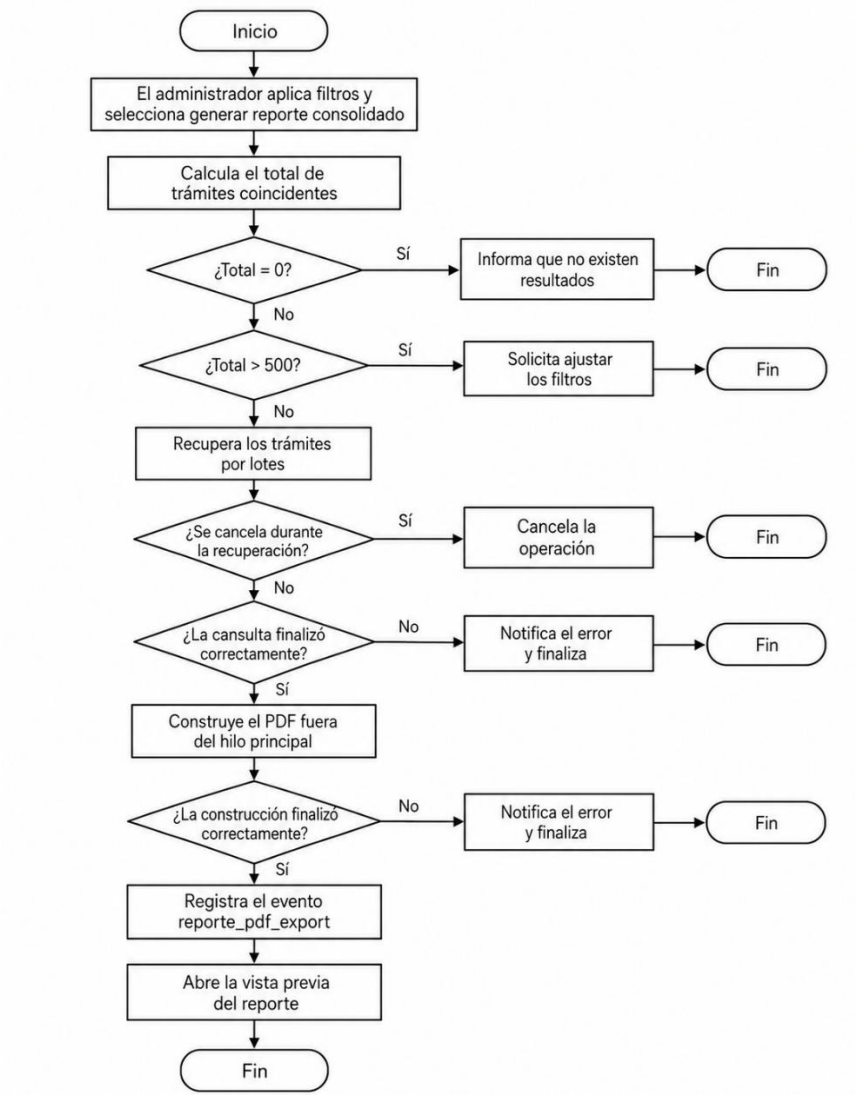
La recuperación por lotes permite controlar la cantidad de documentos y fotografías procesados en cada consulta, en lugar de solicitar todo el contenido en una sola operación. Los registros obtenidos se preparan con su número de trámite y las evidencias disponibles, manteniendo la correspondencia documental antes de transferir los datos al proceso encargado de componer el PDF. Esta organización resulta necesaria porque el reporte puede reunir varios trámites y asigna una página independiente a cada uno.

Una vez reunidos los datos, el PDF se construye fuera del hilo principal para reducir el bloqueo de la interfaz durante el procesamiento de las fotografías y la composición de las páginas. Ante un error de consulta o de construcción, el sistema interrumpe la operación, notifica al administrador y finaliza el flujo sin abrir la vista previa.

Después de construir correctamente el documento, se registra el evento técnico reporte_pdf_export, que conserva el total de trámites incorporados y los filtros utilizados cuando corresponde. Tras registrar el evento, se abre la vista previa, desde la cual el administrador puede revisar las páginas, compartir el archivo o enviarlo a impresión. La Figura 26 representa el flujo.

Figura 26

Flujograma de generación de reporte consolidado



Nota. El flujo muestra el cálculo previo del total de coincidencias, el límite de 500 trámites por reporte, la recuperación por lotes, la cancelación durante esta etapa, la construcción fuera del hilo

principal, el tratamiento general de errores, el registro técnico de la generación y la apertura de la vista previa. Elaboración propia.

3.5.7. *Aplicación transversal de criterios derivados de COBIT 2019*

Los criterios definidos en la sección 3.4 se aplicaron mediante los requerimientos derivados, los módulos y los artefactos incorporados en el diseño de AquaTrace. La Tabla 28 relaciona cada práctica seleccionada con el criterio derivado, los requerimientos relacionados, los módulos y artefactos que respaldan su aplicación y las comprobaciones funcionales previstas para el Capítulo IV. Esta correspondencia se limita al alcance funcional del sistema y no representa una implementación integral, una certificación ni una evaluación de capacidad basada en COBIT 2019.

Tabla 28

Correspondencia entre los criterios derivados de COBIT 2019, los requerimientos y los módulos del sistema

Práctica de gestión	**Criterio derivado**	**Requerimientos relacionados**	**Módulos y artefactos**	**Comprobación prevista**
DSS05.04	Autenticación, estado de la cuenta, direccionamiento por rol, cambio obligatorio de contraseña, revocación y registro de eventos de acceso.	SYSR-01 a SYSR-04, SYSR-14, SYSR-15, SRSH-07 y SRSH-08	Presentación e interfaces (LoginScreen); integración con Firebase (Firebase Authentication, AuthGate, gestión de cuentas y servicio de auditoría).	PF-01 y PF-05

Práctica de gestión	Criterio derivado	Requerimientos relacionados	Módulos y artefactos	Comprobación prevista
DSS06.02	Validación del número y de la observación, asociación de las tres evidencias, comprobación de completitud y cálculo del estado.	SYSR-06 a SYSR-09	Procesamiento y lógica en el cliente (formulario del conductor, TramiteService, validaciones y comprobación de fotografías Antes, Durante y Después).	PF-02 y PF-03
DSS06.03	Separación de los perfiles de conductor y administrador, asignación de privilegios y restricción de operaciones según el rol, la propiedad y el estado.	SYSR-02, SYSR-03, SYSR-14 y SRSH-07	Integración con Firebase (AuthGate, reglas de Firestore); presentación e interfaces diferenciadas por perfil; gestión administrativa de usuarios.	PF-01 y PF-05
DSS06.05	Registro trazable de las acciones efectuadas sobre trámites y reportes mediante el actor, los datos asociados	SYSR-11 a SYSR-13, SYSR-15 y SRSH-08	Procesamiento y lógica en el cliente (creación, actualización y confirmación del cierre); generación y salida documental (exportación);	PF-02, PF-04 y PF-05

Práctica de gestión	Criterio derivado	Requerimientos relacionados	Módulos y artefactos	Comprobación prevista
	y las marcas temporales.		integración con Firebase (colección auditoria).	
MEA02.01	Conservación de una bitácora revisable y consulta administrativa de los controles y eventos registrados.	SYSR-15, SYSR-16 y SRSH-08	Integración con Firebase (registros con actualización y eliminación denegadas desde los clientes); presentación e interfaces (vista reciente, búsqueda global, paginación y detalle).	PF-05

Nota. La correspondencia expresa la aplicación de criterios derivados de las prácticas seleccionadas al alcance funcional de AquaTrace. Las pruebas previstas verifican componentes concretos y no demuestran por sí solas la implementación integral de las prácticas ni el cumplimiento completo del marco. Elaboración propia a partir de ISACA (2018a).

3.5.8. *Planificación de la validación y trazabilidad técnica*

La validación prevista para AquaTrace se estructuró a partir de los requerimientos funcionales y tecnológicos definidos durante la fase de análisis. Esta planificación permite comprobar que los componentes diseñados respondan a las necesidades operativas del personal del contratista y establece una relación directa entre cada requerimiento y las pruebas que se presentarán en el Capítulo IV.

Las comprobaciones previstas se organizan mediante cuatro categorías, cuyas siglas se emplean por primera vez en este apartado: PF para las pruebas funcionales, PI para las pruebas de integración, E para las mediciones de eficiencia y VT para las verificaciones técnicas.

Las pruebas funcionales comprenden PF-01, acceso y gestión de cuentas; PF-02, registro y actualización de evidencias; PF-03, operación con conectividad limitada; PF-04, consulta administrativa y generación documental; y PF-05, generación y consulta funcional de auditoría.

Las pruebas de integración comprenden PI-01, integración de autenticación, perfil, rol, estado y cambio obligatorio de contraseña; PI-02, integración de actualización, persistencia local y confirmación del servidor; y PI-03, integración de consulta, procesamiento y generación documental.

Las mediciones de eficiencia comprenden E-01, búsqueda y apertura de un trámite; y E-02, generación del reporte consolidado.

Las verificaciones técnicas comprenden VT-01, reglas de Firestore y permisos; VT-02, modelo de datos; VT-03, almacenamiento binario, límites y validaciones; VT-04, auditoría; y VT-05, dependencias, persistencia y configuración.

La facilidad de uso se evaluará mediante una ficha de observación aplicada durante las mismas sesiones de prueba con el conductor y la responsable administrativa del contratista, sin crear una familia adicional de códigos. La ficha registra si la tarea fue completada, la ayuda requerida, los errores observados y una descripción breve, tal como se detalla en el Capítulo IV.

La Tabla 29 relaciona cada uno de los 16 SYSR y los 9 SRSH con el módulo y el artefacto de diseño que los materializan, la relación correspondiente con COBIT 2019 y la comprobación y evidencia previstas para su validación. Esta correspondencia expresa planificación y no presenta resultados de ejecución ni estados de cumplimiento de COBIT 2019.

Tabla 29

Matriz individual de trazabilidad técnica y planificación de la validación

Requerimiento	Módulo y artefacto de diseño	Relación con COBIT 2019	Comprobación prevista	Evidencia prevista
SYSR-01	**Integración con Firebase** Autenticación por correo y contraseña (Firebase Authentication).	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04	PF-01 y PI-01	Inicio de sesión con credenciales válidas e inválidas.
SYSR-02	**Integración con Firebase** Recuperación del perfil y direccionamiento por rol y estado (AuthGate).	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.03	PF-01 y PI-01	Enrutamiento correcto al módulo del conductor o del administrador.
SYSR-03	**Integración con Firebase** Denegación del acceso a cuentas suspendidas o con rol no reconocido.	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.03	PF-01 y PI-01	Revocación de sesión al suspender una cuenta activa.
SYSR-04	**Integración con Firebase** Pantalla de cambio obligatorio de la contraseña temporal.	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04	PF-01 y PI-01	Sustitución de la contraseña temporal antes del primer acceso.
SYSR-05	**Procesamiento y lógica en el cliente** Caché local de Firestore y sincronización de escrituras pendientes.	BAI02.01; BAI03.02	PF-03 y PI-02	Actualización de un trámite Pendiente sin conexión y su sincronización posterior.

Requerimiento	Módulo y artefacto de diseño	Relación con COBIT 2019	Comprobación prevista	Evidencia prevista
SYSR-06	**Procesamiento y lógica en el cliente** Formulario del conductor y TramiteService.	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.02; DSS06.03	PF-02	Creación y actualización de trámites propios en estado Pendiente.
SYSR-07	**Procesamiento y lógica en el cliente** Captura y compresión de las tres evidencias fotográficas.	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.02	PF-02	Asociación de las fotografías Antes, Durante y Después al trámite.
SYSR-08	**Procesamiento y lógica en el cliente** Cálculo del estado y confirmación mediante _TramiteSyncWatcher.	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.02	PF-02, PF-03 y PI-02	Versión confirmada por el servidor con las tres evidencias, estado Completado y evento tramite_completed.
SYSR-09	**Procesamiento y lógica en el cliente** Validación de la observación con límite de 1000 caracteres.	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.02	PF-02	La interfaz limita la observación a 1.000 caracteres y muestra el contador correspondiente.
SYSR-10	**Presentación e interfaces** Filtros administrativos por número, estado, conductor y fecha.	BAI02.01; BAI03.02	PF-04 y E-01	Localización de un trámite mediante filtros combinados.
SYSR-11	**Procesamiento y lógica en el cliente** Transacción de renombrado administrativo del número de trámite.	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.03; DSS06.05	PF-04 y PF-05	Sustitución del identificador y generación de tramite_renamed.

Requerimiento	Módulo y artefacto de diseño	Relación con COBIT 2019	Comprobación prevista	Evidencia prevista
SYSR-12	**Procesamiento y lógica en el cliente** Eliminación administrativa de trámites incorrectos.	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.03; DSS06.05	PF-04 y PF-05	Eliminación del documento y generación de tramite_deleted.
SYSR-13	**Generación y salida documental** Construcción del PDF individual y del reporte consolidado.	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.05 (trazabilidad de la generación)	PF-04, E-02 y PI-03	Generación y presentación de ambos tipos de documento.
SYSR-14	**Integración con Firebase** Creación administrativa de cuentas y edición del perfil propio.	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.03	PF-01	Alta de una cuenta y cambio de su estado activo o suspendido.
SYSR-15	**Integración con Firebase** AuditService y los catorce eventos definidos.	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.05; MEA02.01	PF-05	Comparación entre los eventos generados y la bitácora en Firestore.
SYSR-16	**Integración con Firebase** Vista paginada y búsqueda global de la bitácora administrativa.	BAI02.01; BAI03.02; MEA02.01	PF-05	Búsqueda por número, acción y correo, y apertura del detalle.
SRSH-01	**Presentación e interfaces** Aplicación Flutter con interfaces diferenciadas por perfil.	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02	VT-05	Ejecución de ambos módulos en un dispositivo Android.

Requerimiento	Módulo y artefacto de diseño	Relación con COBIT 2019	Comprobación prevista	Evidencia prevista
SRSH-02	**Integración con Firebase** Integración con Firebase Authentication y Cloud Firestore.	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.01; BAI03.02	VT-05 y PI-01	Comprobación de la integración sin servidor propio.
SRSH-03	**Integración con Firebase** Documento de trámite con fotografías Blob asociadas.	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02	VT-02 y VT-03	Verificación del límite de tamaño del documento y de las imágenes.
SRSH-04	**Procesamiento y lógica en el cliente** Caché local y precarga de trámites Pendientes.	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02	PF-03 y PI-02	Disponibilidad de un trámite previamente consultado sin conexión.
SRSH-05	**Integración con Firebase** Colecciones usuarios, tramites y auditoria.	BAI02.01; BAI03.01; BAI03.02	VT-02	Verificación de campos, tipos de datos y relaciones lógicas.
SRSH-06	**Generación y salida documental** Construcción del PDF fuera del hilo principal (compute/Isolate).	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02	E-02 y PI-03	Generación del reporte sin bloquear la interfaz.
SRSH-07	**Integración con Firebase** Reglas de acceso de Cloud Firestore.	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.03	VT-01, PF-01 y PF-05	Comprobación de permisos según identidad, rol, propiedad y estado.
SRSH-08	**Transversal** Selección y justificación tecnológica documentada en la sección 3.5.1	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.05; MEA02.01	VT-04 y PF-05	Generación y consulta de eventos con marca temporal del servidor.

Requerimiento	Módulo y artefacto de diseño	Relación con COBIT 2019	Comprobación prevista	Evidencia prevista
SRSH-09	**Presentación e interfaces** Selección tecnológica documentada en la sección 3.5.1.	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02	VT-05	Disponibilidad de documentación, SDK y paquetes compatibles.

Nota. La matriz relaciona los dieciséis requerimientos funcionales y los nueve requerimientos técnicos y de arquitectura con el módulo y el artefacto de diseño correspondientes, su relación con COBIT 2019 y las comprobaciones y evidencias previstas para la validación. Las relaciones con BAI02 y BAI03 corresponden al ciclo de vida de la solución; las prácticas DSS y MEA se incluyen cuando existe un criterio específico de control. La tabla expresa planificación y no resultados de ejecución ni estados de cumplimiento de COBIT 2019. Elaboración propia a partir de ISACA (2018a, 2018b).

3.5.9. *Síntesis del diseño*

El diseño de AquaTrace estableció la trazabilidad entre las necesidades documentales del contratista, los diez requerimientos de los stakeholders, los dieciséis requerimientos funcionales y los nueve requerimientos técnicos y de arquitectura. BAI02 orientó la definición y trazabilidad de los requerimientos, mientras que BAI03 se utilizó como referencia para la arquitectura, el diseño detallado y la planificación de la validación. Las prácticas DSS05.04, DSS06.02, DSS06.03, DSS06.05 y MEA02.01 aportaron criterios específicos para identidad y acceso, procesamiento de información, privilegios, trazabilidad y disponibilidad de información para revisión administrativa, sin atribuir a AquaTrace la implementación integral de COBIT 2019.

La arquitectura se estructuró en tres niveles: presentación; procesamiento y lógica en el cliente; y servicios administrados de Firebase. Sobre estos niveles se distribuyeron cuatro módulos funcionales: presentación e interfaces, procesamiento y lógica en el cliente, integración con

servicios administrados de Firebase, y generación y salida documental. La seguridad, la persistencia, la sincronización y la auditoría se aplican de forma transversal.

El modelo de datos se organizó en las colecciones usuarios, tramites y auditoria. Las evidencias Antes, Durante y Después se almacenan como objetos Blob dentro del documento del trámite. El estado Completado se determina por la presencia de las tres evidencias. El campo completed_at conserva una marca temporal del servidor asociada con el registro o la confirmación del cierre. Las variables internas _logged y _processing reducen repeticiones dentro de una instancia activa de _TramiteSyncWatcher, pero no constituyen un mecanismo transaccional de unicidad global.

El control de acceso combina Firebase Authentication, AuthGate, el estado de la cuenta, el rol y las reglas de Cloud Firestore. Los eventos de auditoría se registran mediante AuditService con los datos asociados a la operación, la identificación disponible del actor y una marca temporal del servidor. Las reglas de Firestore deniegan la actualización y eliminación de los documentos de auditoría desde los clientes, mientras que su consulta se reserva al administrador activo.

La generación documental produce archivos PDF individuales y reportes consolidados fuera del hilo principal de la interfaz. La validación quedó planificada mediante cinco pruebas funcionales, tres pruebas de integración, dos mediciones de eficiencia, cinco verificaciones técnicas y una ficha de observación de facilidad de uso. Estos elementos constituyen la base técnica para la implementación y la validación documentadas en el Capítulo IV.

Capítulo IV: Implementación y Resultados

El presente capítulo documenta la implementación y la validación de AquaTrace a partir de los requerimientos y del diseño técnico establecidos en el Capítulo III. La aplicación se construyó mediante Flutter y servicios administrados de Firebase, con módulos diferenciados para el conductor y la responsable administrativa del contratista. La evidencia se presenta mediante capturas de ejecución, fragmentos de código seleccionados, mediciones y verificaciones técnicas, evitando repetir los diagramas conceptuales utilizados durante el diseño.

La implementación se relaciona con BAI03.03 y BAI03.05, debido a que comprende el desarrollo de los componentes, su construcción, configuración e integración con los servicios utilizados. La planificación de las pruebas quedó definida en el Capítulo III mediante BAI03.07, mientras que la ejecución, el registro de resultados y la conservación de evidencias se relacionan con BAI03.08. Estas asociaciones se utilizan como referencia del ciclo de vida y no como estados de cumplimiento de COBIT 2019 (ISACA, 2018a).

La validación se realizó con los dos perfiles que intervienen directamente en el proceso del contratista: conductor y responsable administrativa. La aplicación se ejecutó en dispositivos Android; la computadora se utilizó únicamente para observar Firebase Console y contrastar la estructura persistida cuando fue necesario. Los resultados se interpretan dentro de este alcance y no se presentan como una auditoría integral de seguridad, una certificación COBIT 2019 ni una evaluación de capacidad de procesos.

4.1 Implementación del sistema

AquaTrace se implementó como una aplicación móvil Android con un único paquete que habilita el módulo correspondiente después de autenticar la cuenta y recuperar su perfil. El entorno de construcción utilizó Flutter 3.35.3, Dart 3.9.2 y las dependencias resueltas en pubspec.lock.

Firebase Authentication gestiona las credenciales, mientras que Cloud Firestore proporciona persistencia, caché local, sincronización y autorización mediante reglas. La configuración tecnológica empleada se resume en la Tabla 30.

Tabla 30

Configuración tecnológica utilizada en la implementación

Componente	Versión o configuración	Función
AquaTrace	1.0.0+1	Versión de la aplicación utilizada para la validación.
Flutter	3.35.3, canal stable	Construcción y ejecución de la aplicación móvil.
Dart	3.9.2	Lenguaje de programación.
DevTools	2.48.0	Herramientas de desarrollo y diagnóstico.
firebase_core	3.15.2	Inicialización del proyecto Firebase.
firebase_auth	5.7.0	Autenticación de credenciales.
cloud_firestore	5.6.12	Persistencia, caché y sincronización.
connectivity_plus	6.1.5	Observación del estado de conectividad.
image_picker	1.1.2	Captura o selección de fotografías.

flutter_image_compress	2.4.0	Compresión de imágenes antes del almacenamiento.
pdf	3.11.3	Construcción de documentos PDF.
printing	5.14.2	Vista previa, impresión y compartición.
Proyecto Firebase	aquatrace-prod	Servicios Authentication y Cloud Firestore.
Teléfonos de prueba	[modelos y versiones Android por registrar]	Ejecución de los módulos del conductor y administrativo.

Nota. Las versiones de las dependencias corresponden a los valores resueltos en pubspec.lock; Flutter y Dart se obtuvieron mediante flutter --version. Elaboración propia.

4.1.1. *Autenticación y gestión de cuentas*

El ingreso se realiza mediante un formulario que solicita correo electrónico y contraseña. Firebase Authentication verifica las credenciales y, después de establecer la sesión, AquaTrace recupera el documento del usuario en la colección usuarios. La Figura 27 presenta la interfaz inicial, que constituye el punto de entrada común para los dos perfiles.

Figura 27

Pantalla de inicio de sesión de AquaTrace



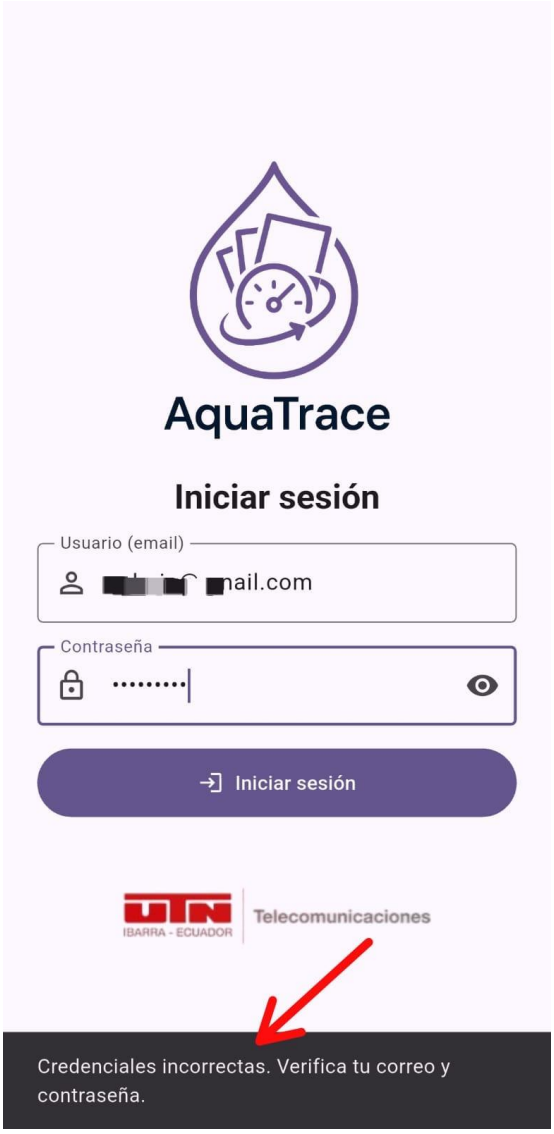
Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

Las validaciones locales impiden enviar el formulario cuando los campos no cumplen la estructura requerida. Cuando Firebase Authentication rechaza las credenciales, la aplicación permanece en la pantalla de ingreso y presenta un mensaje informativo. Este rechazo no genera un

documento en la colección auditoria, debido a que no existe una sesión autenticada con permiso para crear el evento. El rechazo observado ante credenciales no válidas se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Rechazo de credenciales no válidas



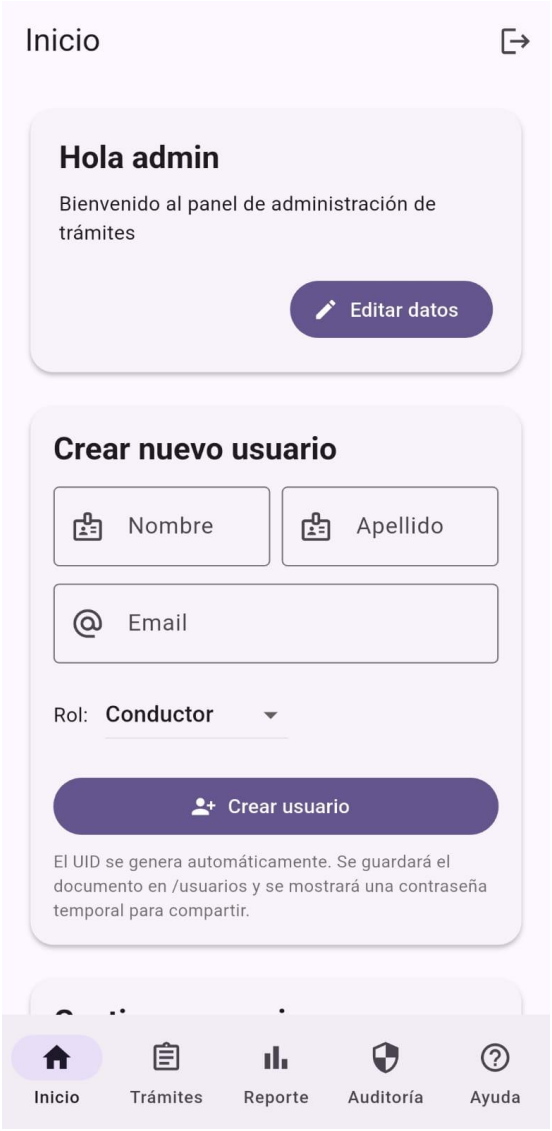
Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

Una cuenta administrativa activa se dirige al panel que integra Inicio, Trámites, Reporte, Auditoría y Ayuda. La separación de navegación permite que las funciones de consulta, gestión de

cuentas, generación documental y revisión de eventos no sean presentadas al conductor. La Figura 29 muestra el panel administrativo obtenido después del acceso con una cuenta activa.

Figura 29

Acceso al módulo administrativo



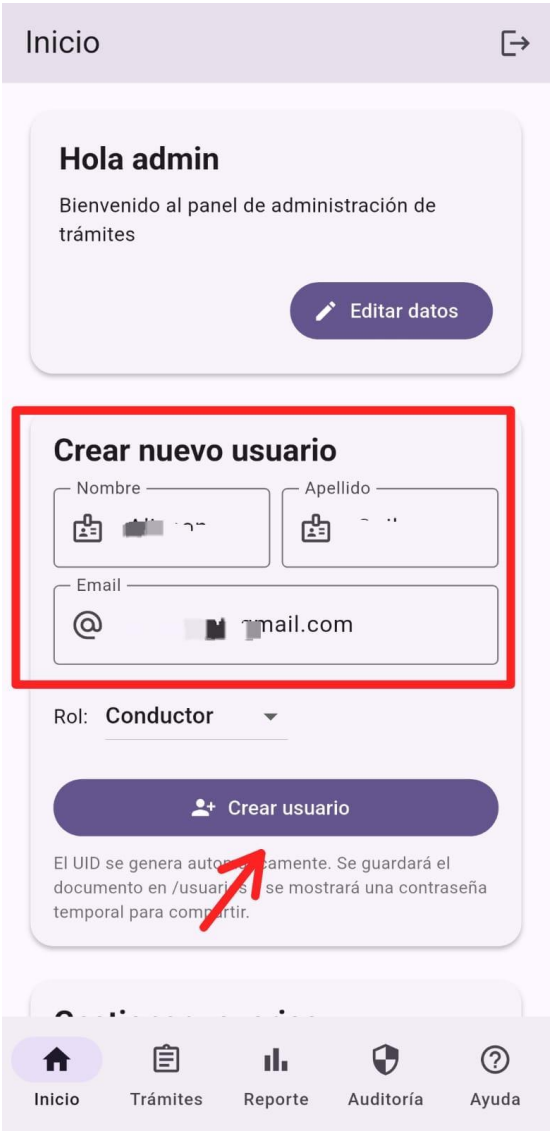
Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

La creación de cuentas se ejecuta desde el panel administrativo. El formulario recibe nombres, apellidos, correo y rol. La implementación utiliza una instancia secundaria de Firebase

Authentication para crear la nueva cuenta sin sustituir la sesión del administrador que realiza el alta. La contraseña temporal se presenta una sola vez y debe compartirse por un medio controlado. La Figura 30 presenta el formulario empleado para crear una cuenta con rol Conductor.

Figura 30

Formulario administrativo para crear una cuenta de conductor

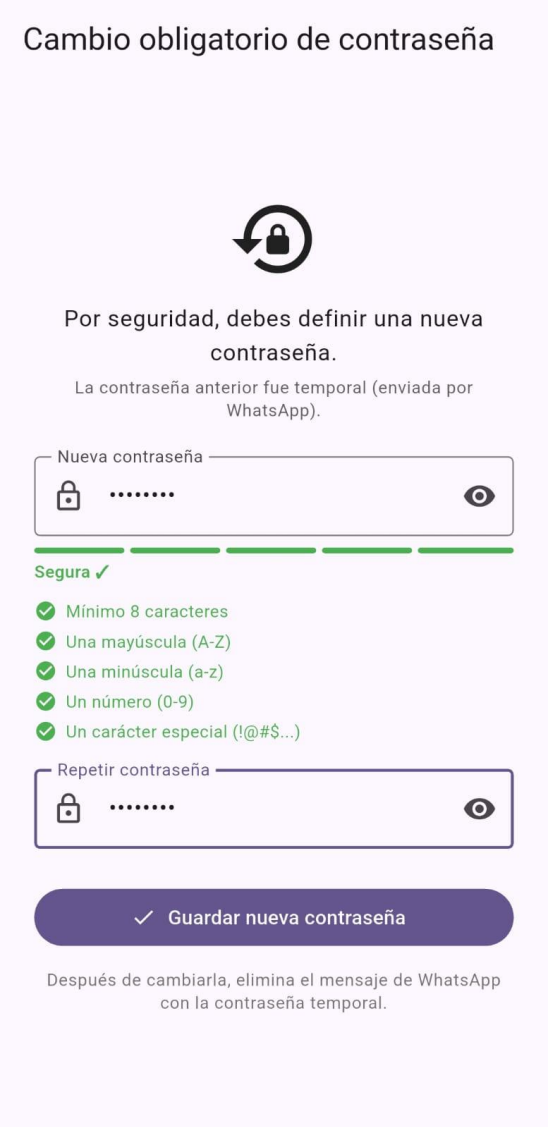


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

El primer ingreso con la credencial temporal activa la pantalla de cambio obligatorio. La nueva contraseña debe satisfacer los criterios definidos en la interfaz y coincidir con el campo de confirmación. Una vez actualizado el secreto en Firebase Authentication, la bandera must_change_password se desactiva en el documento del perfil. La Figura 31 muestra la pantalla que exige sustituir la contraseña temporal antes de continuar.

Figura 31

Cambio obligatorio de la contraseña temporal

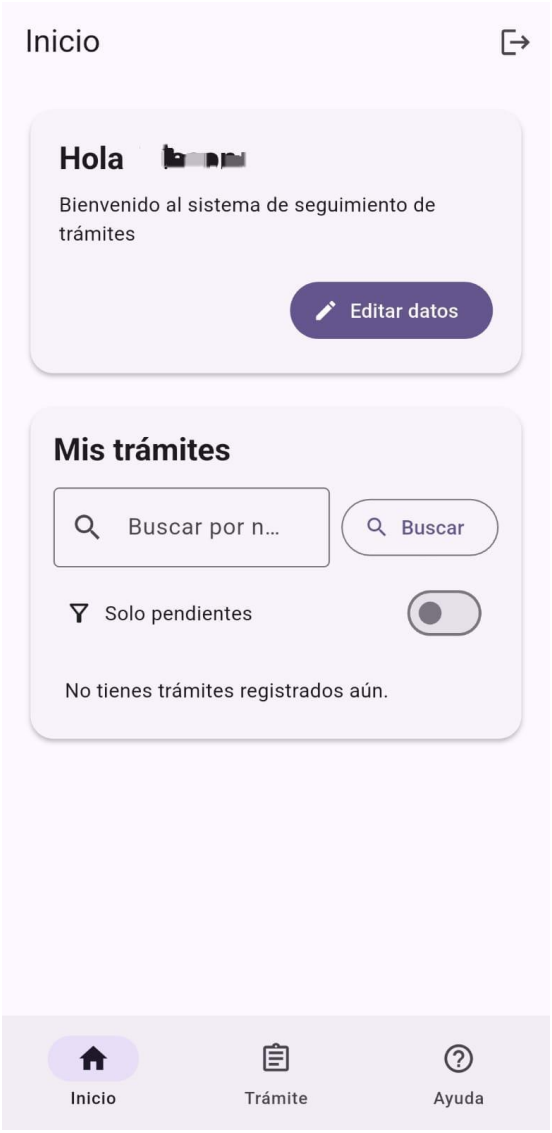


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

Después de completar el cambio, el perfil de conductor accede a una navegación reducida compuesta por Inicio, Trámite y Ayuda. El inicio muestra los datos de presentación, el acceso a la edición del perfil y el listado de trámites propios. La Figura 32 muestra el módulo habilitado para el perfil del conductor después del enrutamiento.

Figura 32

Acceso al módulo del conductor

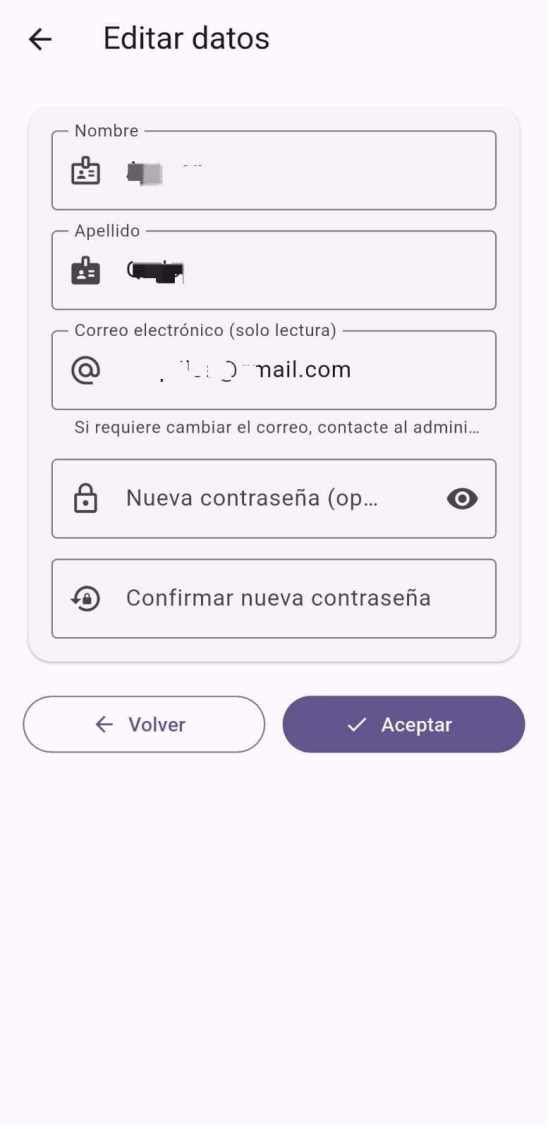


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

El perfil propio permite modificar el nombre, el apellido y, de manera opcional, la contraseña. El correo electrónico se presenta como dato de solo lectura. La operación updateProfile envía un conjunto fijo de campos mediante SetOptions(merge: true); las reglas publicadas autorizan la actualización según la identidad del propietario y no aplican una validación individual sobre todos los campos del documento. Esta delimitación corresponde al alcance implementado y evita atribuir a la regla una protección campo por campo que no fue desarrollada. La Figura 33 presenta el formulario utilizado para actualizar los datos permitidos del perfil propio.

Figura 33

Edición del perfil propio

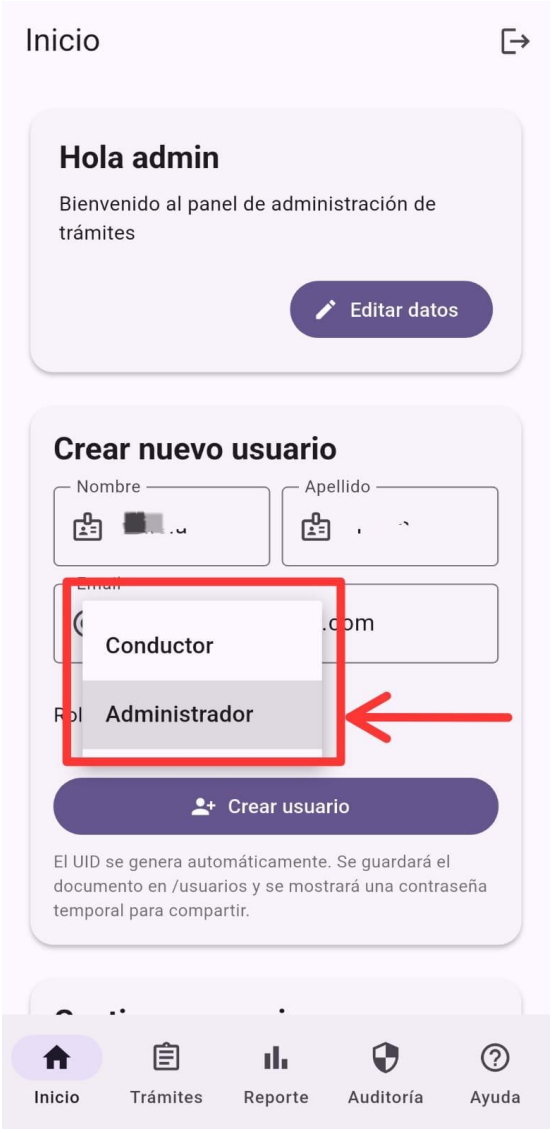


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

El formulario de alta permite seleccionar el rol Administrador para crear una segunda cuenta de gestión. La aplicación impide suspender la propia cuenta y protege la continuidad del acceso administrativo al evitar que se desactive el último administrador activo. La Figura 34 muestra la selección del rol Administrador durante el alta de una cuenta.

Figura 34

Selección del rol administrativo durante el alta de una cuenta

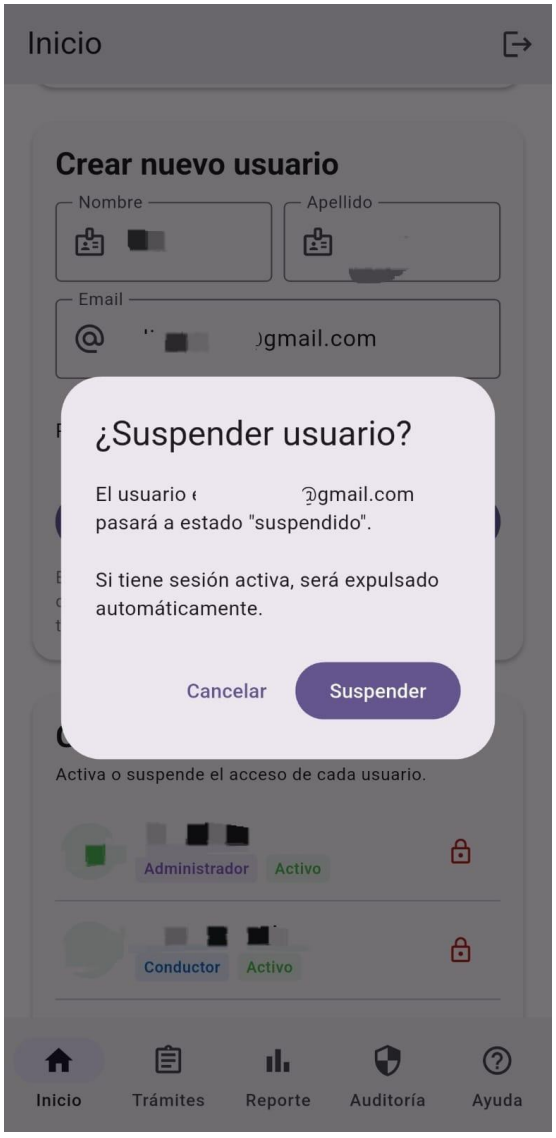


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

El estado de una cuenta puede cambiarse a suspendido desde la gestión de usuarios. La confirmación advierte que una sesión activa será expulsada. Esta operación modifica el campo estado del perfil y genera el evento user_status_changed cuando la escritura se completa. La Figura 35 presenta la confirmación previa al cambio de estado de una cuenta.

Figura 35

Confirmación para suspender una cuenta

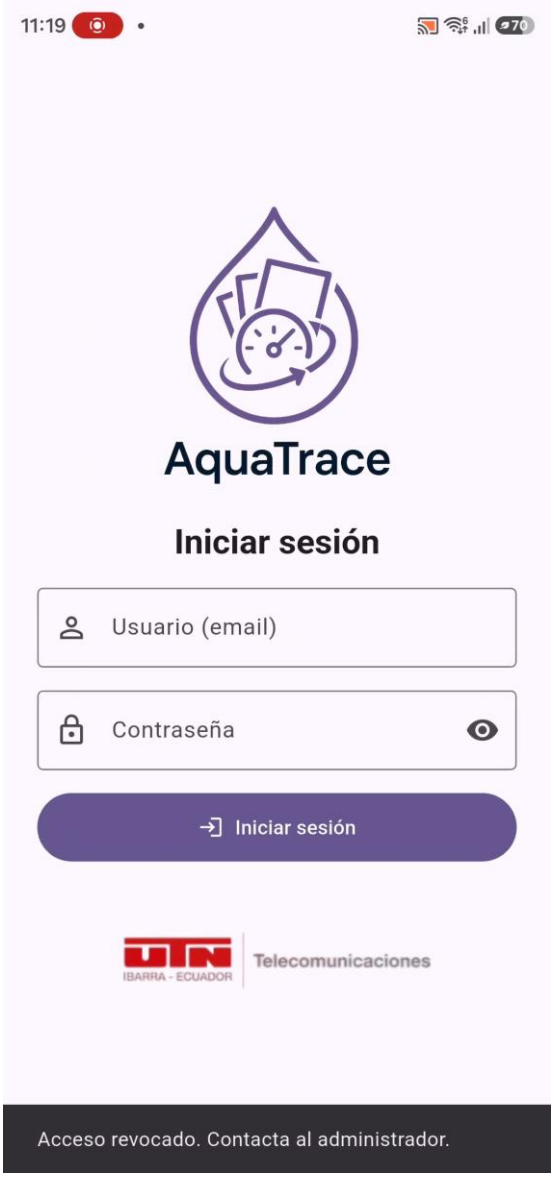


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

AuthGate mantiene una escucha sobre el documento del usuario. Cuando el campo estado deja de ser activo, se registra access_revoked antes del cierre de sesión y se redirige al formulario de ingreso. La Figura 36 muestra el resultado visible de la revocación de una sesión activa.

Figura 36

Revocación de una sesión activa

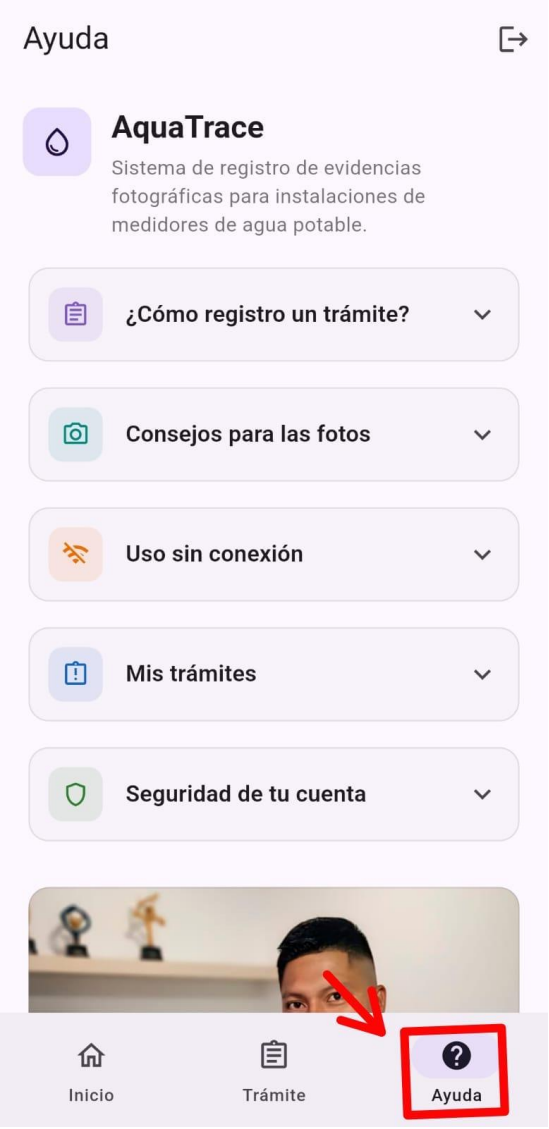


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

La Figura 37 muestra la ayuda disponible para el conductor. Además de explicar el registro de trámites y las recomendaciones fotográficas, la pantalla incorpora pautas de seguridad y un apartado específico sobre el trabajo con conectividad limitada.

Figura 37

Ayuda integrada para el perfil del conductor

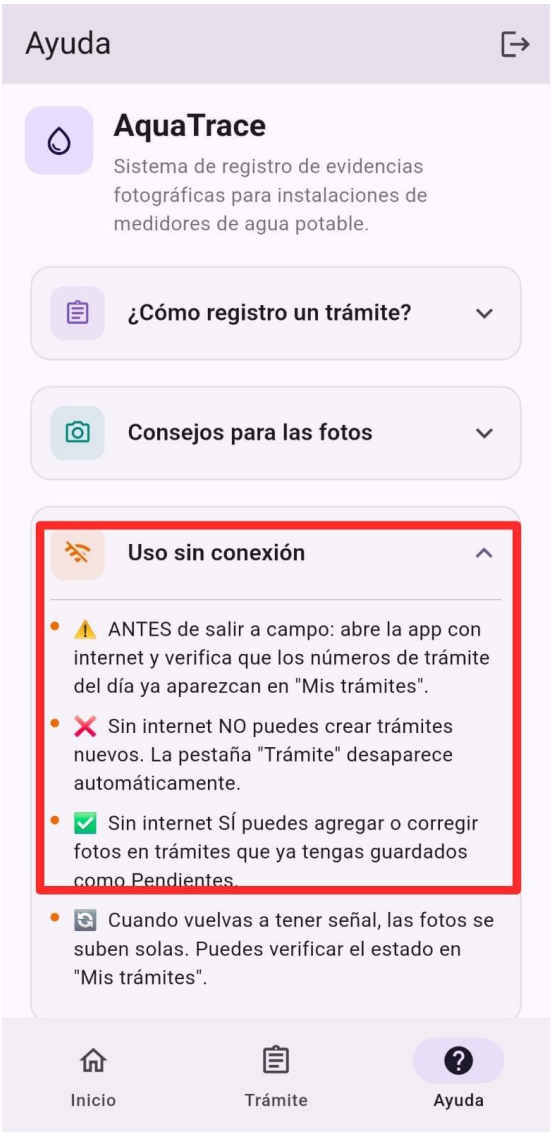


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

Las indicaciones específicas para el trabajo con conectividad limitada se muestran en la Figura 38.

Figura 38

Indicaciones de uso ante conectividad limitada



Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

El fragmento de la Figura 39 resume la lógica de control de acceso implementada en AuthGate. La secuencia comprueba el estado, evalúa el cambio obligatorio y dirige la sesión al módulo definido por tipo_usuario. La selección se limita a un fragmento porque el código

completo forma parte del entregable digital del proyecto, mientras que el capítulo presenta únicamente las decisiones técnicas necesarias para interpretar la ejecución.

Figura 39

Control de estado, cambio obligatorio y enrutamiento por rol

```dart
final estado = (profile['estado'] ?? 'activo').toString();
if (estado != 'activo') {
  _signOutAndRedirect(
    message: 'Acceso revocado. Contacta al administrador.',
    reason: 'suspended',
  );
  return const _Splash();
}

final tipo = (profile['tipo_usuario'] ?? '')
    .toString().toLowerCase().trim();
final mustChange = profile['must_change_password'] == true;

if (mustChange && (tipo == 'admin' || tipo == 'chofer')) {
  return ForcePasswordChangeScreen(tipoUsuario: tipo);
}

switch (tipo) {
  case 'admin': return const AdminHome();
  case 'chofer': return const ChoferHome();
  default:
    _signOutAndRedirect(
      message: 'Rol desconocido: "$tipo".',
      reason: 'unknown_role:$tipo',
    );
    return const _Splash();
}
```

Nota. Fragmento del archivo auth_gate.dart. Elaboración propia.

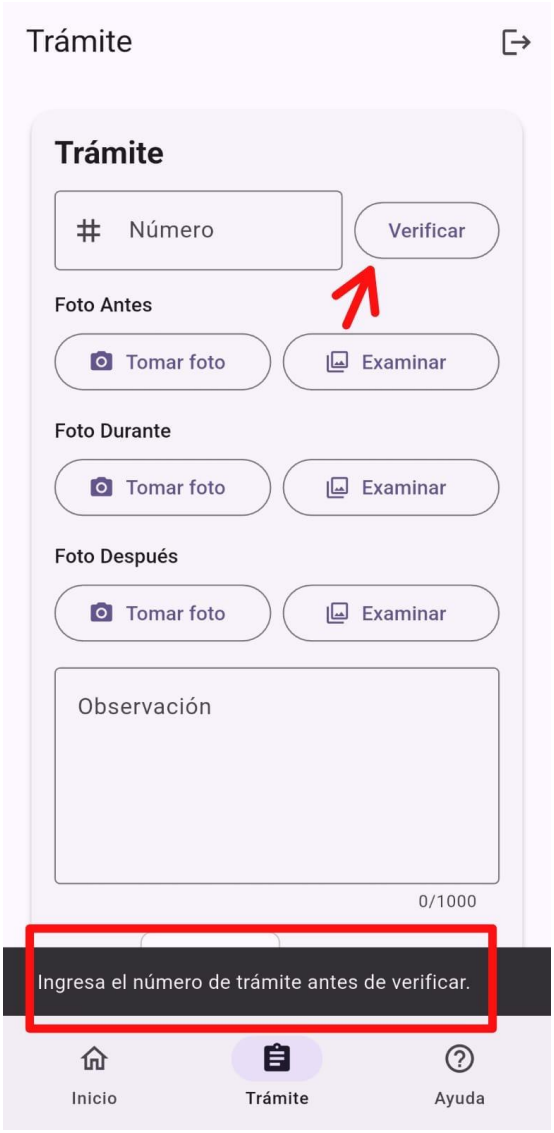
La recuperación por olvido de contraseña permanece fuera de AquaTrace. El administrador utiliza Firebase Authentication para solicitar el correo de restablecimiento, de acuerdo con el procedimiento ya delimitado en el Capítulo III. Por esta razón, no se presenta como una función interna del módulo ni como un evento propio de auditoría.

4.1.2. *Módulo del conductor*

El módulo del conductor concentra la creación y actualización de los trámites asignados a su cuenta. Para iniciar un registro nuevo se debe ingresar el número y solicitar su verificación. La aplicación no habilita el flujo cuando el campo se encuentra vacío, como muestra la Figura 40.

Figura 40

Validación del número requerido

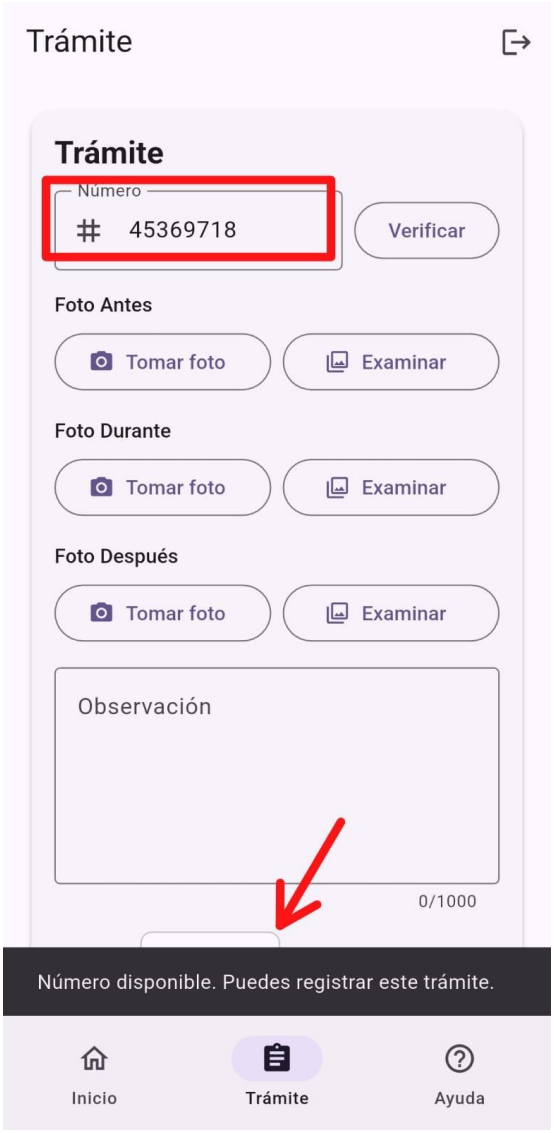


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

Con conectividad disponible, la verificación consulta el documento cuyo identificador coincide con el número escrito. Cuando no existe, el formulario informa que el número puede utilizarse. Esta comprobación evita que dos registros nuevos compartan el mismo identificador. La Figura 41 muestra la confirmación de disponibilidad obtenida antes de habilitar un registro nuevo.

Figura 41

Confirmación de disponibilidad del número de trámite

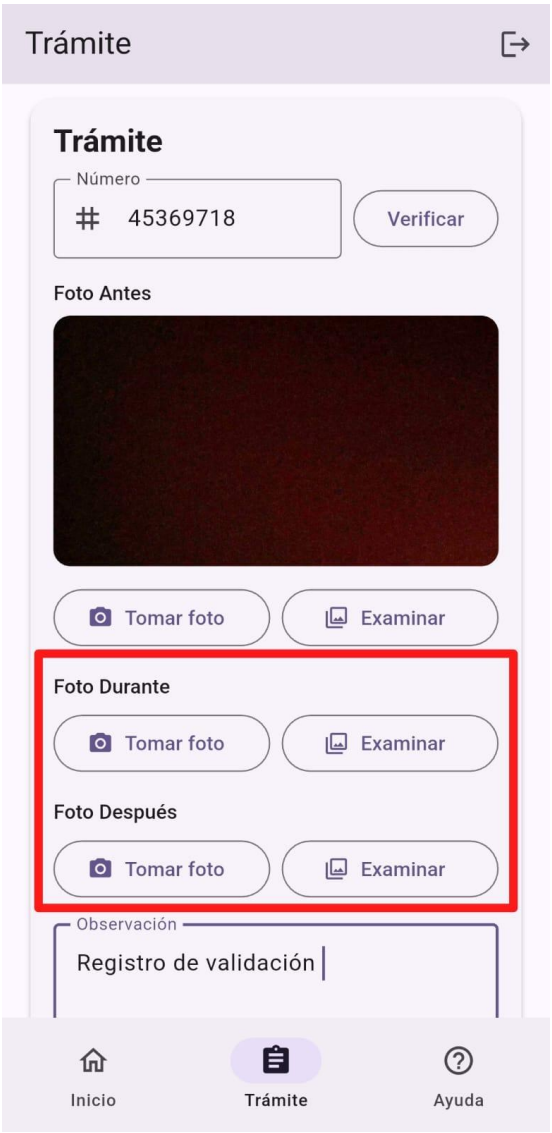


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

El formulario dispone de tres espacios fotográficos asociados a las etapas Antes, Durante y Después. Cada etapa permite utilizar la cámara o seleccionar una imagen del dispositivo. La compresión se ejecuta antes del almacenamiento para mantener el documento dentro del límite admitido por Cloud Firestore. La Figura 42 presenta el registro inicial con una evidencia fotográfica asociada.

Figura 42

Registro inicial con una evidencia fotográfica



Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

Cuando solo se dispone de una o dos fotografías, el documento se conserva con estado Pendiente. Esta posibilidad responde al trabajo en varios frentes y permite completar la evidencia en un momento posterior sin crear otro número. La Figura 43 muestra la confirmación del guardado cuando el conjunto de evidencias permanece incompleto.

Figura 43

Confirmación de guardado de un trámite Pendiente

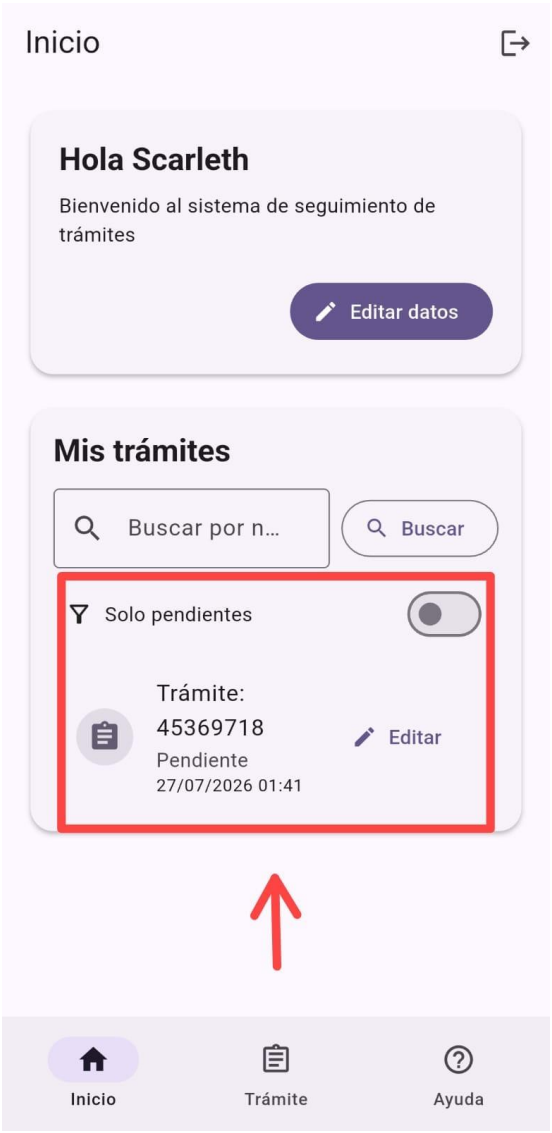


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

El trámite conservado como Pendiente en el listado del conductor se muestra en la Figura 44.

Figura 44

Trámite Pendiente disponible en el listado del conductor

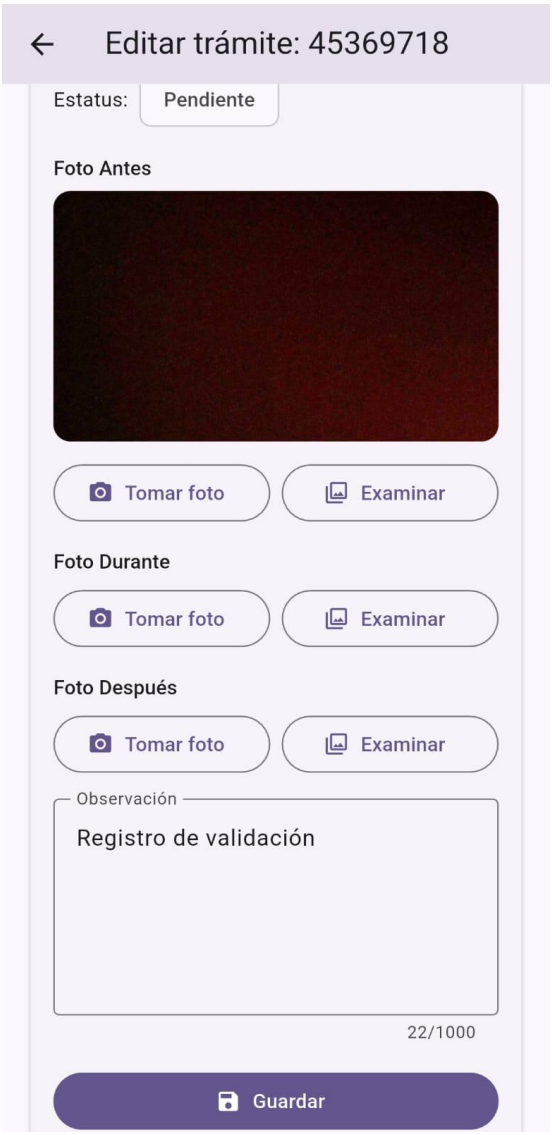


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

El conductor puede localizar un Pendiente y abrirlo en modo de edición. Las fotografías ya almacenadas y la observación se recuperan para evitar que la actualización sustituya información previa. La edición se mantiene disponible únicamente para el propietario y mientras el estado no sea Completado. La Figura 45 muestra la recuperación de un Pendiente para continuar su actualización.

Figura 45

Recuperación de un trámite Pendiente para edición

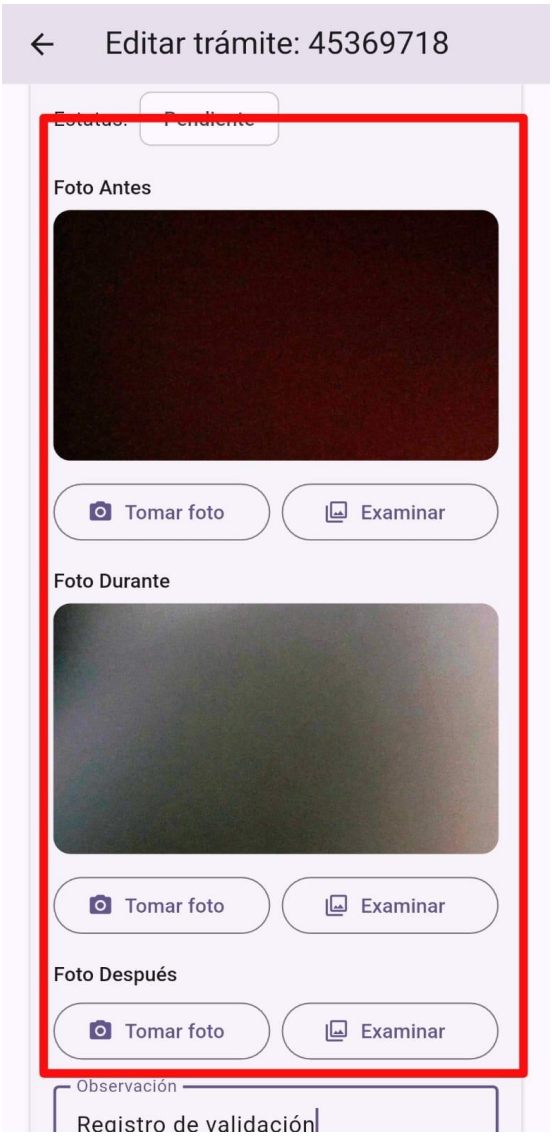


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

La actualización puede incorporar nuevas fotografías sin perder las anteriores. La Figura 46 presenta un documento con las etapas Antes y Durante disponibles, mientras que la etapa Después continúa vacía. El estado permanece Pendiente hasta que se encuentran presentes las tres evidencias.

Figura 46

Actualización de un Pendiente con dos evidencias



Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

Después de guardar la segunda evidencia, el estado Pendiente se mantiene, como se observa en la Figura 47.

Figura 47

Confirmación de cambios en un trámite Pendiente



Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

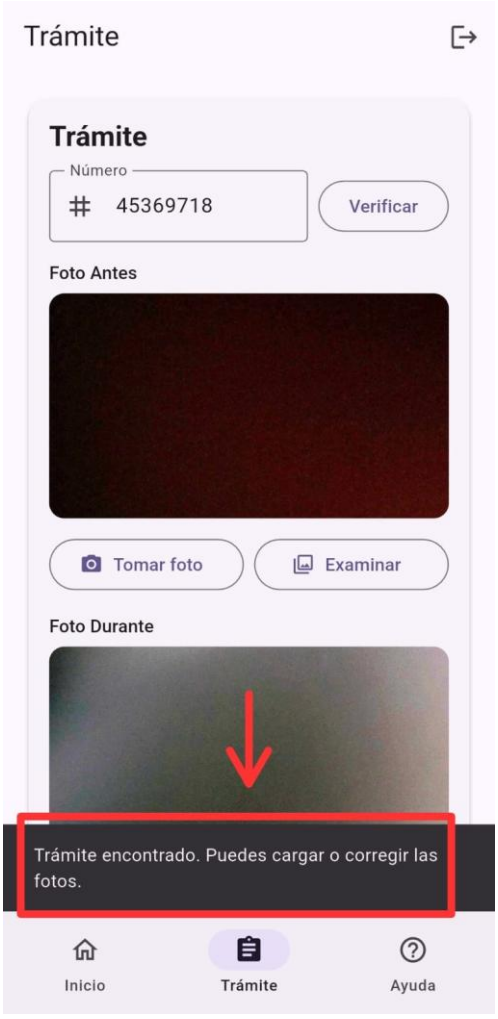
El campo observacion dispone de un máximo de 1000 caracteres aplicado por el componente de interfaz. El contador visible impide escribir un contenido superior al límite; la validación se ejecuta en chofer_home.dart y no constituye una restricción definida en las reglas de

Firestore. Esta distinción se mantiene para describir el sistema sin trasladar el control a una capa donde no fue implementado.

Cuando el número ya corresponde a un trámite existente, la aplicación no lo presenta como un identificador libre. Si el documento pertenece al conductor y permanece Pendiente, el registro puede recuperarse para corrección; si no cumple esas condiciones, no se habilita una nueva creación. La Figura 48 muestra el tratamiento de un número que ya corresponde a un trámite existente.

Figura 48

Prevención de una creación duplicada



Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

La persistencia del trámite se concentra en una escritura combinada. El estado se calcula con base en la existencia de las tres fotografías y cada imagen se convierte en Blob antes de incorporarse al mapa de datos. La Figura 49 presenta el fragmento responsable de esta operación.

Figura 49

Cálculo del estado y almacenamiento de fotografías como Blob

```
final haveAntes = (bytesAntes != null) || hadAntes;
final haveDurante = (bytesDurante != null) || hadDurante;
final haveDespues = (bytesDespues != null) || hadDespues;

String estado = prev['estado']?.toString() ?? 'Pendiente';
if (haveAntes && haveDurante && haveDespues) {
  estado = 'Completado';
}

final data = <String, dynamic>{
  'numero': numero,
  'chofer_id': choferId,
  'updated_at': FieldValue.serverTimestamp(),
  'estado': estado,
  if (observacion != null) 'observacion': observacion.trim(),
  if (bytesAntes != null) 'foto_antes_bytes': Blob(bytesAntes),
  if (bytesDurante != null) 'foto_durante_bytes': Blob(bytesDurante),
  if (bytesDespues != null) 'foto_despues_bytes': Blob(bytesDespues),
};

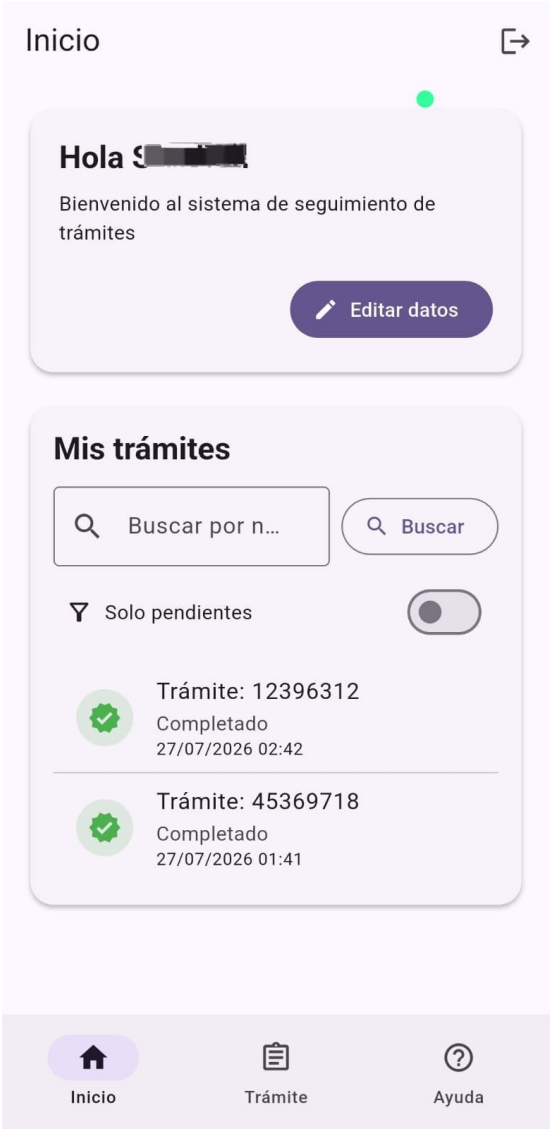
await ref.set(data, SetOptions(merge: true));
```

Nota. Fragmento del archivo tramite_service.dart. Elaboración propia.

Los trámites en estado Completado se presentan como registros cerrados. El conductor puede consultarlos en su listado, pero no dispone del botón Editar que permanece visible en los Pendientes. Esta restricción reduce modificaciones posteriores sobre una evidencia ya consolidada. La Figura 50 muestra los trámites Completados sin el flujo de edición disponible para el conductor.

Figura 50

Trámites Completados sin flujo de edición para el conductor



Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

4.1.3. *Módulo administrativo*

El módulo administrativo integra cinco áreas de navegación: Inicio, Trámites, Reporte, Auditoría y Ayuda. Inicio reúne el perfil, la creación de cuentas y la gestión del estado de los

usuarios. La pantalla mostrada en la Figura 29 confirma que estas funciones se encuentran dentro del mismo paquete móvil y se habilitan únicamente después del enrutamiento por rol.

La consulta de trámites admite número, estado, conductor y rango de fechas. La consulta base ordena por created_at y por el identificador del documento para sostener una paginación estable. Los criterios se añaden a la consulta únicamente cuando contienen un valor, como se observa en la Figura 51.

Figura 51

Construcción de la consulta administrativa con filtros

```
Query<Map<String, dynamic>> _buildBaseQuery() {
  Query<Map<String, dynamic>> q = _db
      .collection('tramites')
      .orderBy('created_at', descending: true)
      .orderBy(FieldPath.documentId, descending: true);

  if (_from != null) {
    q = q.where('created_at',
      isGreaterThanOrEqualTo: Timestamp.fromDate(_from!));
  }
  if (_to != null) {
    q = q.where('created_at',
      isLessThanOrEqualTo: Timestamp.fromDate(_to!));
  }
  if (_choferId != null && _choferId!.isNotEmpty) {
    q = q.where('chofer_id', isEqualTo: _choferId);
  }
  if (_status != null && _status!.isNotEmpty) {
    q = q.where('estado', isEqualTo: _status);
  }
  return q;
}
```

Nota. Fragmento del archivo admin_tramites.dart. Elaboración propia.

El resultado administrativo permite abrir el detalle del trámite, revisar las tres fotografías, consultar la observación y verificar las marcas temporales. La interfaz administrativa incorpora las

operaciones de renombrado y eliminación con confirmación explícita. El renombrado crea el documento bajo el nuevo identificador, conserva el contenido y retira el documento anterior dentro de una operación controlada. La autorización efectiva se complementa con las reglas de Cloud Firestore y se analiza posteriormente en VT-01.

La salida documental se divide en PDF individual y reporte consolidado. El primero utiliza la información de un trámite y distribuye sus tres fotografías en una página A4. El reporte consolidado recupera el conjunto determinado por los filtros y genera una página por trámite. Para proteger la memoria del teléfono se aplica un máximo de 500 registros por ejecución.

La construcción del reporte se delega mediante compute a una función ejecutada fuera del hilo principal. El indicador de progreso permanece en la interfaz mientras el isolate procesa los documentos y, después de la finalización, se registra reporte_pdf_export con la cantidad y los filtros aplicados. La Figura 52 presenta la llamada principal y el límite utilizado.

Figura 52

Construcción del reporte consolidado fuera del hilo principal

```
const int kMaxTramitesPorReporte = 500;

// Construcción del PDF fuera del hilo principal.
final pdfBytes = await compute(
  _buildPdfFromRawDocsIsolate,
  {
    'docs': docsCooked,
    'logo': logoBytes,
  },
);

await _audit.logReportePdfExport(
  totalTramites: docsCooked.length,
  numero: _numeroCtrl.text.trim().isEmpty
      ? null
      : _numeroCtrl.text.trim(),
);
```

Nota. Fragmento del archivo admin_reporte.dart. Elaboración propia.

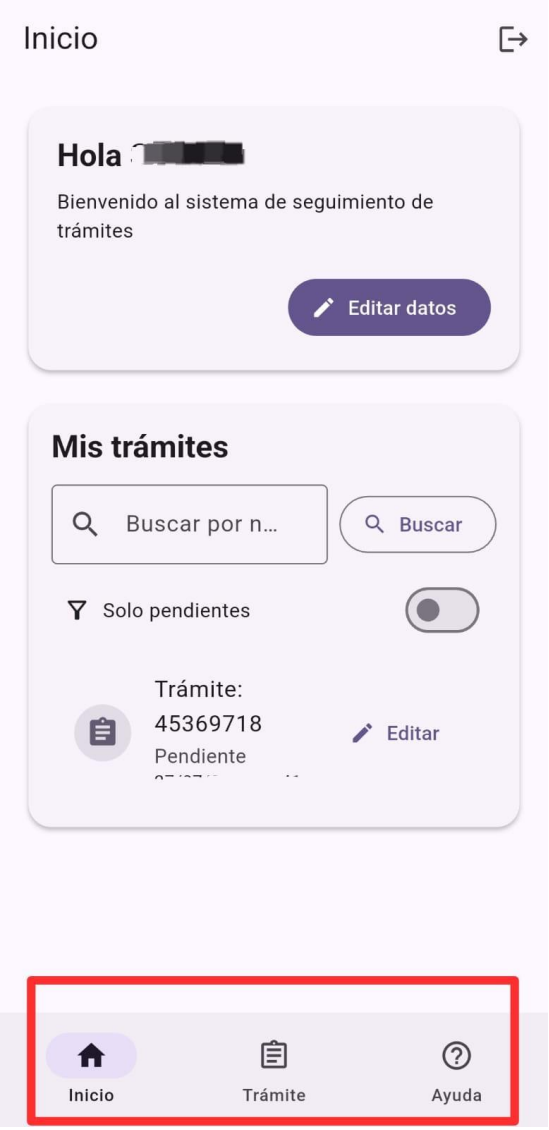
4.1.4. *Persistencia, sincronización y auditoría*

La persistencia se organizó mediante las colecciones usuarios, tramites y auditoria. Los documentos de usuarios mantienen el perfil y los campos de control; los trámites reúnen el identificador, el conductor, la observación, el estado, las marcas temporales y las tres fotografías; la auditoría conserva los eventos generados por los módulos. Esta organización evita separar las fotografías del registro que explica su origen operativo.

La conectividad limitada se admite únicamente para Pendientes que ya fueron recuperados con conexión. Antes de desconectar, la pestaña Trámite permanece disponible y el documento puede abrirse desde el listado. La Figura 53 representa esta condición previa.

Figura 53

Trámite Pendiente disponible con conectividad



Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

Al perder la conexión, AquaTrace informa que los cambios quedarán pendientes y oculta la opción destinada a crear números nuevos. El listado conserva los documentos disponibles en la caché local. La Figura 54 muestra la interfaz reducida y la disponibilidad del Pendiente precargado.

Figura 54

Interfaz del conductor sin conectividad



Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

La escritura realizada sin conexión se acepta localmente y permanece pendiente hasta recuperar la comunicación. El indicador visible evita que el usuario interprete el estado local como una confirmación del servidor y advierte que la carga se realizará automáticamente. La Figura 55 presenta la escritura aceptada localmente mientras permanece pendiente de sincronización.

Figura 55

Escritura local pendiente de sincronización



Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

La confirmación definitiva se controla mediante _TramiteSyncWatcher. El monitor solicita cambios de metadatos y descarta las instantáneas que proceden de caché o que todavía contienen escrituras pendientes. Solo después de recibir una instantánea confirmada registra el cierre,

actualiza completed_at cuando corresponde y genera tramite_completed. La Figura 56 muestra la comprobación utilizada para distinguir una instantánea confirmada por el servidor.

Figura 56

Comprobación de la confirmación del servidor

```
_sub = ref.snapshots(includeMetadataChanges: true).listen(
  (snap) async {
    if (snap.metadata.hasPendingWrites ||
        snap.metadata.isFromCache) {
      return;
    }

    final data = snap.data();
    final haveThree = _tiene3Fotos(data);
    final estado = (data?['estado'] ?? '').toString();

    if (haveThree && !_logged) {
      _logged = true;
      if (estado != 'Completado') {
        await ref.update({
          'estado': 'Completado',
          'completed_at': FieldValue.serverTimestamp(),
        });
      }
      await AuditService().logTramiteCompleted(
        numero: numero,
        choferId: (data?['chofer_id'] ?? '').toString(),
      );
    }
  },
);
```

Nota. Fragmento de la clase _TramiteSyncWatcher en chofer_home.dart. Elaboración propia.

Después de restablecer la conexión, el mensaje verde confirma que el servidor aceptó el documento y que el estado se consolidó. La tarjeta del conductor deja de mostrar el flujo de edición

y presenta el registro como Completado. La Figura 57 presenta la confirmación visible después de restablecer la conectividad.

Figura 57

Confirmación posterior a la sincronización

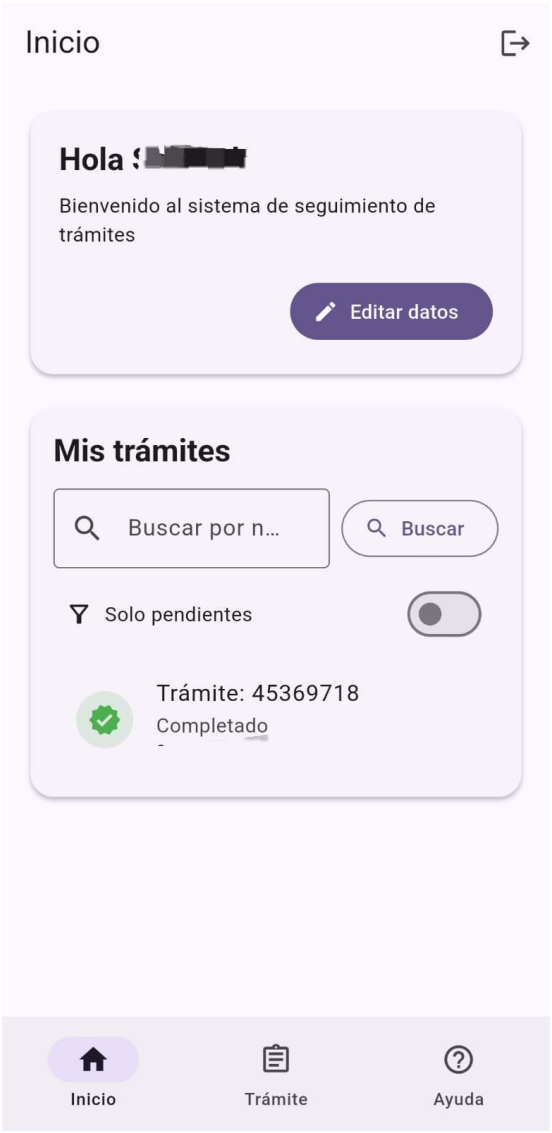


Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

La Figura 58 muestra el mismo trámite ya presentado como Completado en el listado del conductor.

Figura 58

Estado Completado después de la confirmación del servidor



Nota. Captura obtenida durante la ejecución de AquaTrace. Elaboración propia.

La auditoría se implementó como un servicio centralizado. Cada evento incluye la acción, la identidad disponible del actor, un mapa con los datos vinculados y created_at resuelto mediante FieldValue.serverTimestamp(). Los registros se agregan a la colección auditoria y no se actualizan ni eliminan desde los clientes. La Figura 59 presenta la estructura implementada para crear los documentos de auditoría.

Figura 59

Estructura de almacenamiento de los eventos de auditoría

```
Future<void> _log(
  String action,
  Map<String, dynamic> data,
) async {
  final user = FirebaseAuth.instance.currentUser;

  await FirebaseFirestore.instance
      .collection('auditoria')
      .add({
        'action': action,
        'actor_uid': user?.uid,
        'actor_email': user?.email,
        'actor_nombre': actorNombre,
        'data': data,
        'created_at': FieldValue.serverTimestamp(),
      });
}
```

Nota. Fragmento del archivo audit_service.dart. Elaboración propia.

4.2 Validación y resultados

La validación ejecuta la planificación definida en la sección 3.5.8 y mantiene las mismas familias de comprobación: pruebas funcionales (PF), pruebas de integración (PI), mediciones de eficiencia (E) y verificaciones técnicas (VT). La facilidad de uso se registró mediante la ficha de observación del Anexo C y no se convirtió en una familia adicional de códigos. La ejecución y

conservación de resultados se relacionan con BAI03.08, mientras que los criterios específicos de identidad, procesamiento, autoridad, trazabilidad y revisión administrativa se contrastan con DSS05.04, DSS06.02, DSS06.03, DSS06.05 y MEA02.01, según el alcance definido en el Capítulo III.

4.2.1. *Plan y condiciones de prueba*

Las pruebas utilizaron cuentas y trámites de prueba, fotografías neutras y la versión 1.0.0+1 de AquaTrace. El conductor ejecutó los flujos de autenticación, registro, actualización y conectividad limitada; la responsable administrativa realizó las tareas de consulta, generación documental, auditoría y eficiencia. La computadora se utilizó únicamente para observar Cloud Firestore cuando se requirió una verificación técnica. Las pruebas de acceso se limitaron a la aplicación oficial: no se construyeron solicitudes directas contra la API ni se ejecutaron pruebas de penetración.

La Tabla 31 resume el plan efectivamente utilizado y la relación de cada comprobación con COBIT 2019. Los códigos BAI describen la continuidad del ciclo de vida; las prácticas DSS y MEA se incluyen solo cuando aportan un criterio específico de control.

Tabla 31

Plan de validación ejecutado

Código	Comprobación	Procedimiento resumido	Criterio de aceptación	Relación COBIT 2019
PF-01	Acceso y gestión de cuentas	Autenticar ambos perfiles; comprobar cambio obligatorio,	Acceso correcto por perfil y revocación de una cuenta suspendida.	BAI03.08; DSS05.04; DSS06.03

Código	Comprobación	Procedimiento resumido	Criterio de aceptación	Relación COBIT 2019
		suspensión y revocación.		
PF-02	Registro de evidencias	Crear y actualizar un trámite con número, observación y tres fotografías.	Persistencia en el mismo documento y estado acorde con la completitud.	BAI03.08; DSS06.02
PF-03	Conectividad limitada	Precargar un Pendiente, desconectar, modificar, reconectar y verificar.	Sincronización posterior sin pérdida del registro ni de las evidencias.	BAI03.08; DSS06.02
PF-04	Consulta y documentos	Buscar y abrir un trámite; revisar filtros y operaciones administrativas; generar documentos.	La consulta y la salida documental corresponden con la información seleccionada.	BAI03.08; DSS06.03; DSS06.05
PF-05	Trazabilidad	Revisar eventos representativos en la bitácora y contrastar su estructura con Firestore.	Actor, acción, datos asociados y marca temporal se encuentran disponibles.	BAI03.08; DSS05.04; DSS06.05; MEA02.01

Código	Comprobación	Procedimiento resumido	Criterio de aceptación	Relación COBIT 2019
PI-01	Autenticación-perfil-rol-estado	Comprobar la continuidad entre Authentication, perfil, AuthGate y navegación.	La sesión continúa únicamente al módulo autorizado.	BAI03.05; BAI03.08; DSS05.04; DSS06.03
PI-02	Persistencia local-servidor	Observar escritura local pendiente y confirmación posterior.	El cierre se registra solo después de la confirmación remota.	BAI03.05; BAI03.08; DSS06.02
PI-03	Consulta-procesamiento-PDF	Relacionar consulta administrativa, recuperación de datos y generación documental.	La vista previa se obtiene a partir del conjunto consultado.	BAI03.05; BAI03.08; DSS06.05
VT-01	Reglas de Firestore	Revisar las condiciones de autorización publicadas.	Permisos coherentes con identidad, rol, propiedad, estado y recurso.	DSS05.04; DSS06.03
VT-02	Modelo de datos	Revisar colecciones, identificadores,	Modelo coherente con usuarios, tramites y auditoria.	BAI03.08

Código	Comprobación	Procedimiento resumido	Criterio de aceptación	Relación COBIT 2019
		campos y referencias lógicas.		
VT-03	Blobs, límites y validaciones	Revisar compresión, tamaño total, Blob y observación.	Controles implementados en la capa correspondiente.	DSS06.02
VT-04	Auditoría	Revisar AuditService, eventos y restricciones de la colección.	Eventos estructurados y bitácora no modificable desde clientes.	DSS06.05; MEA02.01
VT-05	Dependencias y configuración	Contrastar pubspec, versión y componentes utilizados.	Configuración reproducible y compatible con la solución implementada.	BAI03.05
E-01	Búsqueda y apertura	Medir tres veces la localización y apertura del mismo trámite.	Promedio calculado y ausencia/presencia de errores registrada.	BAI03.08

Código	Comprobación	Procedimiento resumido	Criterio de aceptación	Relación COBIT 2019
E-02	Reporte consolidado	Generar tres veces el reporte con 101 trámites.	Promedio calculado y conjunto esperado visible.	BAI03.08; DSS06.05
Facilidad de uso	Observación por perfil	Registrar finalización, ayuda y errores en tareas representativas.	Dificultades descritas sin inferencia estadística.	BAI03.08

Nota. La relación con COBIT 2019 orienta la ejecución y la interpretación de los controles dentro del alcance de AquaTrace; no representa certificación ni evaluación integral del marco. Elaboración propia a partir de (ISACA, 2018a).

4.2.2. *Resultados de las pruebas funcionales*

Los resultados funcionales se consolidan en la Tabla 32. El estado Cumple se aplica a los requerimientos del sistema dentro del método de verificación definido; no se utiliza para calificar prácticas de COBIT 2019.

Tabla 32

Resumen de resultados funcionales

Código	Resultado observado	Estado	Evidencia principal
PF-01	Se observaron acceso diferenciado, cambio obligatorio de contraseña, suspensión y revocación de sesión.	Cumple	Figuras 27 a 39.

Código	Resultado observado	Estado	Evidencia principal
PF-02	Se creó un Pendiente, se recuperó, se añadieron evidencias y se consolidó como Completado.	Cumple	Figuras 40 a 50.
PF-03	Se mantuvo un Pendiente precargado, se aceptó una escritura local y se confirmó después de reconectar.	Cumple	Figuras 53 a 58.
PF-04	La búsqueda y apertura se ejecutaron sin errores; el reporte consolidado se generó correctamente. Los filtros, detalle, renombrado, eliminación y PDF individual se contrastaron además con los flujos implementados.	Cumple en evidencia combinada	Figuras 51 y 52; Tablas 35 y 36; revisión de admin_tramites.dart y admin_reporte.dart.
PF-05	La bitácora mostró eventos representativos de acceso, usuarios, trámites y reportes; Firestore conserva documentos con acción, actor, datos y marca temporal.	Cumple en el alcance documentado	Figuras 59 a 61.

Nota. PF-04 combina evidencia de ejecución con verificación del código para operaciones que no cuentan con una captura independiente. PF-05 utiliza evidencia funcional y estructural; la Figura 61 no se presenta como la misma instancia temporal que los detalles móviles de la Figura 60. Elaboración propia.

PF-01 confirmó la separación entre perfiles dentro de una misma aplicación. Las Figuras 29 y 32 muestran navegaciones distintas para la responsable administrativa y el conductor; la Figura 31 evidencia el cambio obligatorio de la credencial temporal y las Figuras 35 y 36 muestran la suspensión y la revocación de una sesión activa. Esta secuencia materializa los criterios derivados de DSS05.04 y DSS06.03 sin atribuir a la aplicación la implementación integral de dichas prácticas.

PF-02 verificó la progresión del trámite desde un registro incompleto hasta el cierre. La validación del número, la asociación de las evidencias y el estado Pendiente se muestran entre las Figuras 40 y 47; el almacenamiento como Blob y el cálculo del estado se documentan en la Figura 49. El campo de observación dispone de maxLength=1000 en la interfaz y conserva una comprobación defensiva antes del guardado. En la interacción normal el componente impide exceder el máximo, por lo que no se utiliza como evidencia un mensaje de desbordamiento que el usuario no alcanza a provocar.

PF-03 verificó el comportamiento previsto para conectividad limitada: el trámite se recuperó previamente con red, permaneció disponible desde caché, aceptó una actualización local y se confirmó después de restablecer la comunicación. Las Figuras 53 a 58 documentan la secuencia. La prueba no demuestra creación de números nuevos sin conexión, porque esa función requiere consultar el servidor antes de habilitar el registro.

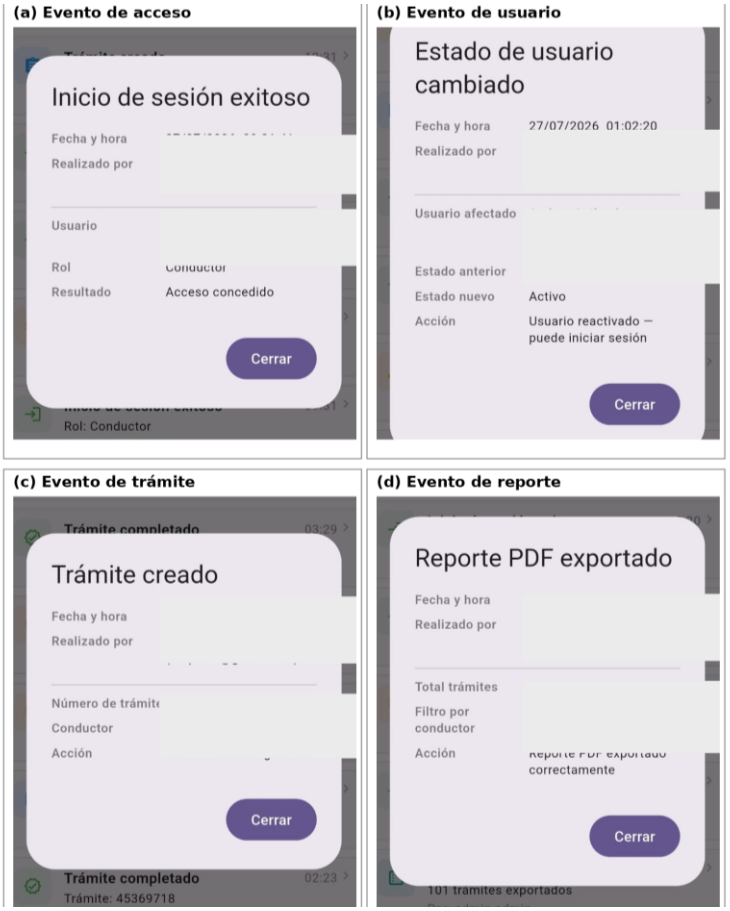
PF-04 se evaluó mediante una combinación de ejecución y verificación técnica. E-01 comprobó la localización y apertura de un trámite sin errores, mientras E-02 confirmó la generación del reporte consolidado con 101 registros. La construcción de filtros y del reporte se observa además en las Figuras 51 y 52. Los flujos de renombrado, eliminación y PDF individual se contrastaron con admin_tramites.dart y admin_reporte.dart; por esta razón el resultado se

declara como cumplimiento dentro de una evidencia combinada y no como una serie de capturas independientes de todas las suboperaciones.

PF-05 se cerró con evidencia representativa de los cuatro grupos definidos en el Capítulo III. La Figura 60 reúne eventos de acceso, gestión de usuarios, trámites y reportes consultados desde la bitácora administrativa.

Figura 60

Eventos representativos consultados en la bitácora administrativa

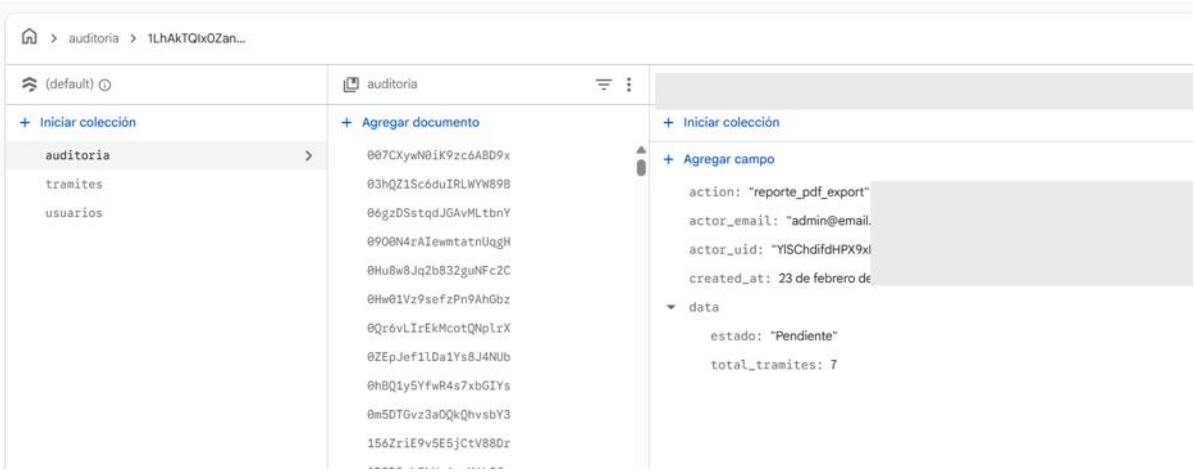


Nota. Las cuatro vistas corresponden a categorías diferentes de la bitácora. Los identificadores personales se anonimizaron en la versión destinada al documento académico. Elaboración propia a partir de la ejecución de AquaTrace.

La persistencia de la auditoría se complementó con la observación de Cloud Firestore. La Figura 61 muestra las tres colecciones utilizadas por AquaTrace y un documento de auditoría con action, created_at y data. Los valores de correo y UID se anonimizaron. Debido a que la captura de Firestore corresponde a un evento diferente de los detalles móviles reunidos en la Figura 60, no se presenta como una comparación uno a uno de la misma instancia temporal; su función es verificar la estructura persistida y la disponibilidad de los campos definidos por AuditService.

Figura 61

Estructura persistida de un evento de auditoría en Cloud Firestore



Nota. Se observan las colecciones auditoria, tramites y usuarios, además de un documento de auditoría con acción, marca temporal y datos asociados. Los identificadores personales se anonimizaron. La captura verifica la estructura persistida y no se presenta como la misma instancia temporal de la Figura 60. Elaboración propia.

4.2.3. *Resultados de las pruebas de integración*

Las pruebas de integración verificaron la continuidad entre componentes que, de forma aislada, ya habían sido descritos en la implementación. La Tabla 33 presenta los resultados de PI-01 a PI-03 y su relación con la construcción e integración de la solución.

Tabla 33

Resultados de las pruebas de integración

Código	Integración verificada	Resultado observado	Estado	Evidencia
PI-01	Firebase Authentication → perfil en usuarios → AuthGate → módulo por rol/estado → cambio obligatorio.	La sesión se dirigió al módulo correspondiente y una suspensión activa produjo revocación.	Cumple	Figuras 27 a 36; auth_gate.dart.
PI-02	Formulario del conductor → caché/escritura local → Cloud Firestore → _TramiteSyncWatcher → auditoría.	La escritura pendiente se mantuvo localmente y el cierre se registró después de una instantánea confirmada por servidor.	Cumple	Figuras 53 a 58; chofer_home.dart.
PI-03	Consulta administrativa → recuperación de trámites → procesamiento fuera del hilo principal → vista previa → auditoría.	La consulta y el reporte consolidado conservaron el conjunto esperado y la exportación generó un evento de auditoría.	Cumple	Figura 52; Tabla 36; Figura 60(d).

Nota. Las pruebas de integración se relacionan con BAI03.05 por la construcción e integración de componentes y con BAI03.08 por su ejecución y evidencia. Elaboración propia.

4.2.4. *Verificaciones técnicas*

Las verificaciones técnicas contrastaron el código fuente canónico, las reglas de Cloud Firestore y la estructura de datos con los requerimientos SRSH. Estas comprobaciones no sustituyen una prueba de penetración ni una auditoría del servicio administrado; verifican únicamente la configuración y el comportamiento implementados por AquaTrace. Los resultados se resumen en la Tabla 34.

Tabla 34

Resultados de las verificaciones técnicas

Código	Objeto de verificación	Resultado técnico	Estado
VT-01	Reglas de Cloud Firestore	usuarios: creación por administrador activo; edición propia restringida; eliminación denegada. tramites: propietario activo puede crear y modificar su Pendiente; administrador activo dispone de operaciones administrativas. auditoria: creación autenticada, lectura administrativa y actualización/eliminación denegadas.	Verificado
VT-02	Modelo de datos	Se mantienen tres colecciones: usuarios, tramites y auditoria. Los vínculos son lógicos; no se utilizan claves foráneas. La Figura 61 confirma la existencia de las tres colecciones.	Verificado

Código	Objeto de verificación	Resultado técnico	Estado
VT-03	Blobs, tamaño y validaciones	Las fotografías se convierten en Blob. La compresión usa un objetivo de 200 KiB por imagen y existe una guarda para un total superior a 950 KiB. observacion se limita a 1.000 caracteres en la interfaz.	Verificado
VT-04	Auditoría	AuditService define catorce acciones y utiliza serverTimestamp. Los clientes no pueden actualizar ni eliminar documentos de auditoría. Los rechazos por credenciales inválidas no se persisten cuando no existe sesión autenticada.	Verificado
VT-05	Dependencias y configuración	AquaTrace 1.0.0+1, Flutter 3.35.3, Dart 3.9.2 y dependencias resueltas en pubspec.lock; persistencia de Firestore y procesamiento compute para la salida documental.	Verificado

Nota. VT-01 distingue las restricciones de la interfaz de las autorizaciones efectivas del servidor. En particular, la lectura de un trámite propio no exige isActiveUser() en la regla; la revocación visible de una cuenta suspendida se complementa mediante AuthGate en la aplicación oficial. Elaboración propia.

VT-01 confirmó que isAdmin() no comprueba únicamente el rol: exige sesión autenticada, existencia del perfil, tipo_usuario=admin y estado=activo. En la colección usuarios, el perfil propio puede modificar nombre, apellido, updated_at y la transición de must_change_password de true a false; el administrador activo puede cambiar estado y updated_at de otra cuenta. En tramites, las operaciones del propietario requieren estado activo para crear, actualizar o eliminar un Pendiente, mientras que las operaciones administrativas dependen de isAdmin(). La lectura del trámite propio se mantiene disponible a nivel de regla y la aplicación oficial complementa el control mediante la revocación gestionada por AuthGate.

VT-03 distinguió los controles de la interfaz de los controles del backend. El límite de 1.000 caracteres de observacion se aplica en chofer_home.dart mediante maxLength y una comprobación defensiva antes del guardado; no se presenta como una restricción de Firestore. Las fotografías se comprimen con un objetivo de 200 KiB por evidencia y se comprueba un total aproximado de 950 KiB antes de solicitar la escritura. La persistencia final utiliza objetos Blob dentro del documento tramites, sin trasladar las imágenes a Firebase Storage.

VT-04 confirmó que la integridad de la bitácora depende de dos capas complementarias: AuditService define el catálogo de acciones y construye los datos del evento, mientras las reglas de Firestore impiden actualizar o eliminar los documentos desde los clientes. La regla de creación exige una sesión autenticada; por ello login_failed puede existir en el catálogo del servicio sin que un rechazo por credenciales inválidas quede almacenado cuando todavía no existe una sesión válida.

4.2.5. *Resultados de eficiencia y facilidad de uso*

E-01 midió el tiempo requerido por la responsable administrativa para localizar y abrir el mismo trámite desde la pantalla con los filtros limpios. El cronometraje terminó cuando el detalle

y las fotografías quedaron visibles. Las tres repeticiones se realizaron sin errores; los resultados se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35

Medición E-01: búsqueda y apertura de un trámite

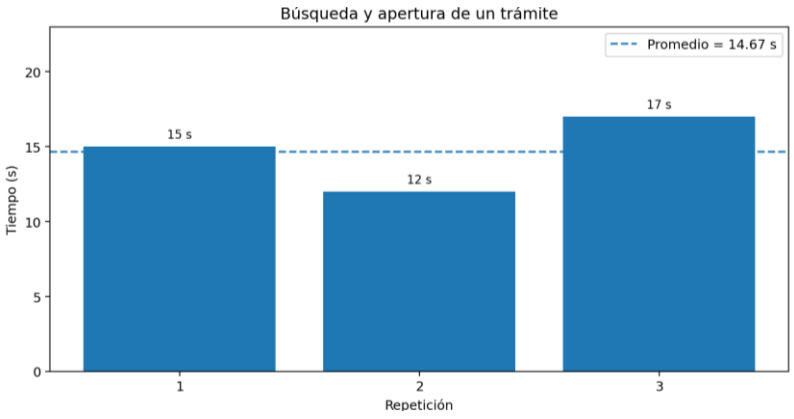
Repetición	Tiempo (s)	Errores
1	15	0
2	12	0
3	17	0
Promedio	14,67	0

Nota. El promedio se calculó a partir de 15, 12 y 17 segundos. No se registraron errores durante las tres repeticiones. Elaboración propia.

El tiempo promedio de E-01 fue de 14,67 s y el intervalo entre el valor mínimo y el máximo fue de cinco segundos. La Figura 62 muestra la variación observada entre las tres repeticiones; los valores describen la tarea completa y no la latencia aislada de Cloud Firestore.

Figura 62

Tiempo observado en la búsqueda y apertura de un trámite



Nota. Los valores corresponden a tres repeticiones realizadas sobre la misma tarea. La línea discontinua representa el promedio de 14,67 s. Elaboración propia.

E-02 midió la generación y presentación del reporte consolidado con 101 trámites. El cronometraje comenzó al seleccionar Generar PDF y finalizó cuando la vista previa quedó disponible. Las tres repeticiones conservaron el mismo conjunto y no registraron errores. Los resultados se detallan en la Tabla 36.

Tabla 36

Medición E-02: generación y presentación del reporte consolidado

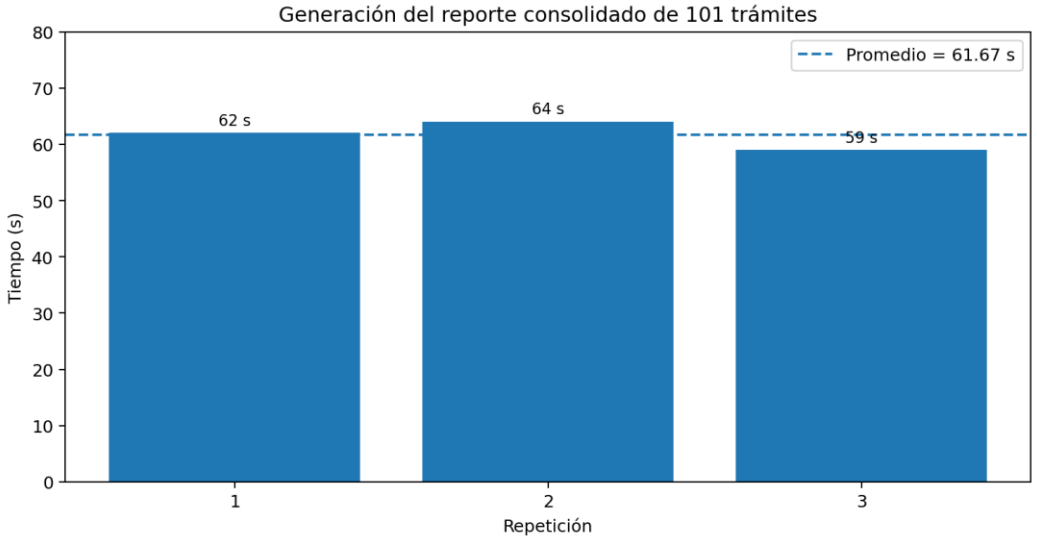
Repetición	Trámites incluidos	Tiempo (s)	Errores
1	101	62	0
2	101	64	0
3	101	59	0
Promedio	101	61,67	0

Nota. El tiempo comprende recuperación, construcción del documento y presentación de la vista previa. No se registraron errores o interrupciones en las tres repeticiones. Elaboración propia.

Los tiempos de E-02 fueron 62, 64 y 59 s, con un promedio de 61,67 s y una diferencia de cinco segundos entre los extremos. La Figura 63 permite observar la estabilidad relativa de las tres ejecuciones dentro del conjunto evaluado.

Figura 63

Tiempo observado en la generación del reporte consolidado de 101 trámites



Nota. Los valores corresponden a tres repeticiones realizadas con el mismo conjunto de 101 trámites. La línea discontinua representa el promedio de 61,67 s. Elaboración propia.

La responsable administrativa estimó que la organización manual de aproximadamente cien trámites podía requerir alrededor de tres jornadas laborales. Ese dato caracteriza el procedimiento anterior, pero no constituye una medición experimental equivalente a E-02. AquaTrace parte de información ya registrada y estructurada, por lo que no se calcula un porcentaje de reducción entre magnitudes que representan tareas diferentes.

La facilidad de uso se registró mediante la ficha del Anexo C. La observación se limitó a tareas representativas de los dos perfiles y se interpretó de forma descriptiva. La Tabla 37 resume los resultados utilizados en el capítulo.

Tabla 37

Observación de la facilidad de uso

Perfil	Tarea	Completó	Ayuda	Errores	Observación

Conductor	Iniciar sesión y acceder al módulo	Sí	Ninguna	0	Acceso realizado sin dificultad.
Conductor	Abrir un trámite Pendiente propio	Sí	Verbal	0	Requirió orientación inicial para ubicar la pantalla; después completó la tarea con facilidad.
Conductor	Agregar o sustituir una evidencia y guardar	Sí	Ninguna	0	Una vez ubicado el módulo, realizó el registro y guardado con facilidad.
Responsable administrativa	Buscar un trámite y abrir su detalle	Sí	Verbal	0	Requirió orientación inicial para ubicar la pantalla de trámites; luego completó la tarea con facilidad.
Responsable administrativa	Generar y visualizar un documento PDF	Sí	Ninguna	0	La generación y visualización se realizó sin dificultad.

Responsable administrativa	Consultar la bitácora de auditoría	Sí	Verbal	0	La dificultad se limitó a ubicar inicialmente la pantalla de auditoría; después la consulta fue sencilla.

Nota. Los resultados son descriptivos y corresponden únicamente a los dos perfiles directamente vinculados con el proceso del contratista. No se calculan porcentajes de usabilidad ni se generalizan los resultados. Elaboración propia a partir del Anexo C.

Las seis tareas fueron completadas. La principal dificultad identificada fue la ubicación inicial de determinadas pantallas, para lo cual se requirió orientación verbal puntual en algunas tareas. Una vez localizada la función correspondiente, la interacción se realizó con facilidad y no se registraron errores que impidieran completar las operaciones observadas. Esta evidencia no permite establecer una calificación estadística de usabilidad debido al número de participantes.

4.2.6. *Cierre de trazabilidad de requerimientos y COBIT 2019*

El cierre de trazabilidad relaciona los requerimientos de AquaTrace con la evidencia obtenida, el método de comprobación y las prácticas de COBIT 2019 definidas durante el diseño. El estado Cumple corresponde exclusivamente al requerimiento del sistema y no representa un nivel de cumplimiento de COBIT 2019. La Tabla 38 consolida esta relación para los dieciséis requerimientos funcionales y los nueve requerimientos técnicos y de arquitectura.

Tabla 38

Cierre de trazabilidad de los requerimientos del sistema

Requerimiento	Evidencia y comprobación	Relación COBIT 2019	Estado
SYSR-01	Fig. 27–28; PF-01, PI-01	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04	Cumple
SYSR-02	Fig. 29, 32; PF-01, PI-01	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.03	Cumple
SYSR-03	Fig. 35–36; PF-01, PI-01	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.03	Cumple
SYSR-04	Fig. 31; PF-01, PI-01	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04	Cumple
SYSR-05	Fig. 53–58; PF-03, PI-02	BAI02.01; BAI03.02	Cumple
SYSR-06	Fig. 42–47; PF-02	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.02; DSS06.03	Cumple
SYSR-07	Fig. 42, 46, 49; PF-02, VT-03	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.02	Cumple
SYSR-08	Fig. 57–58; PF-02, PF-03, PI-02	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.02	Cumple
SYSR-09	Límite de 1000 caracteres; PF-02, VT-03	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.02	Cumple
SYSR-10	Fig. 51; PF-04, E-01	BAI02.01; BAI03.02	Cumple
SYSR-11	PF-04; verificación técnica	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.03; DSS06.05	Cumple

Requerimiento	Evidencia y comprobación	Relación COBIT 2019	Estado
SYSR-12	PF-04; verificación técnica	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.03; DSS06.05	Cumple
SYSR-13	Fig. 52; PF-04, PI-03, E-02	BAI02.01; BAI03.02; DSS06.05	Cumple
SYSR-14	Fig. 30, 33–36; PF-01	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.03	Cumple
SYSR-15	Fig. 59–61; PF-05, VT-04	BAI02.01; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.05; MEA02.01	Cumple
SYSR-16	Fig. 60; PF-05, VT-04	BAI02.01; BAI03.02; MEA02.01	Cumple
SRSH-01	Fig. 29, 32; VT-05	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02	Cumple
SRSH-02	PI-01, VT-05	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.01; BAI03.02	Cumple
SRSH-03	VT-02, VT-03	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02	Cumple
SRSH-04	Fig. 53–58; PF-03, PI-02	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02	Cumple
SRSH-05	Fig. 61; VT-02	BAI02.01; BAI03.01; BAI03.02	Cumple
SRSH-06	Fig. 52; PI-03, E-02	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02	Cumple
SRSH-07	VT-01, PF-01	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.03	Cumple
SRSH-08	Fig. 59–61; VT-04, PF-05	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02; DSS05.04; DSS06.05; MEA02.01	Cumple
SRSH-09	Tabla 30; VT-05	BAI02.01; BAI02.02; BAI03.02	Cumple

Nota. El estado corresponde al requerimiento de AquaTrace y se sustenta mediante pruebas funcionales, de integración, mediciones o verificaciones técnicas. Las prácticas de COBIT 2019 mantienen la relación establecida en los Capítulos II y III y no reciben un estado de cumplimiento. Elaboración propia.

La matriz evidencia que los veinticinco requerimientos disponen de una ruta de verificación. BAI03.03 y BAI03.05 se relacionan con la construcción e integración descritas en la sección 4.1, mientras que BAI03.08 se refleja en la ejecución y documentación de las pruebas de la sección 4.2. Las prácticas DSS y MEA se mantienen únicamente cuando existe una relación específica con el control evaluado.

La correspondencia entre los objetivos específicos abordados en el Capítulo IV y los principales resultados obtenidos se resume en la Tabla 39.

Tabla 39

Correspondencia entre los objetivos específicos y los resultados del Capítulo IV

Objetivo específico	Evidencia principal	Resultado
Implementar el sistema para la gestión de evidencias fotográficas.	Implementación de módulos, PF-01 a PF-05, PI-01 a PI-03 y VT-01 a VT-05.	Se implementaron e integraron las funciones previstas para ambos perfiles, persistencia, sincronización, generación documental, seguridad y auditoría.
Evaluar el funcionamiento, eficiencia y facilidad de uso.	PF-01 a PF-05, E-01, E-02 y Anexo C.	Las pruebas verificaron las funciones previstas. E-01 obtuvo 14,67 s y E-02 61,67 s; las tareas de facilidad de uso fueron completadas, con orientación inicial en algunas pantallas.

Nota. Los resultados utilizan criterios derivados de COBIT 2019 como referencia de diseño y verificación; no representan una auditoría, certificación ni evaluación de capacidad del marco. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos permiten cerrar la relación entre los requerimientos definidos en el Capítulo III, su implementación y las verificaciones efectuadas en el presente capítulo. Esta trazabilidad constituye la base para establecer las conclusiones del trabajo.

4.2.7. *Análisis global de resultados*

La implementación obtenida conserva la correspondencia entre los requerimientos, los módulos diseñados y los componentes ejecutables. La autenticación, el direccionamiento por rol, la gestión de cuentas, el registro progresivo de fotografías, la determinación del estado, la conectividad limitada, la consulta administrativa, la generación documental y la auditoría se encuentran vinculados con al menos una comprobación funcional, de integración o técnica. Esta relación evita presentar capturas aisladas como prueba suficiente de comportamiento y permite distinguir la existencia del componente de su verificación.

Las mediciones de eficiencia mostraron estabilidad dentro de las condiciones evaluadas. E-01 obtuvo 15, 12 y 17 s, con promedio de 14,67 s y sin errores. E-02 registró 62, 64 y 59 s para un conjunto de 101 trámites, con promedio de 61,67 s y sin errores. Los intervalos de ambas tareas fueron de cinco segundos. Estos valores caracterizan la ejecución observada y no deben extrapolarse a otros dispositivos, redes o volúmenes sin nuevas mediciones.

La observación de facilidad de uso identificó una dificultad concreta: la ubicación inicial de determinadas pantallas. La necesidad de orientación verbal se presentó en tareas de localización, pero no impidió completar las operaciones y no se registraron errores funcionales durante las tareas resumidas en el Anexo C. El resultado sugiere que la interacción es operable una vez reconocida

la estructura de navegación, pero no se presenta como una medición estadística de usabilidad debido a que participaron únicamente los dos perfiles vinculados con el proceso.

La aplicación de COBIT 2019 se mantiene acotada al uso definido desde el Capítulo II. BAI03.03 y BAI03.05 proporcionan la referencia para el desarrollo, construcción e integración; BAI03.08 se relaciona con la ejecución de las pruebas. DSS05.04, DSS06.02, DSS06.03, DSS06.05 y MEA02.01 aportan criterios específicos observables en identidad y acceso, procesamiento, autoridad, trazabilidad y disponibilidad de información para revisión administrativa. Los resultados no constituyen una declaración de cumplimiento integral de esas prácticas. Tampoco se incorporan BAI07.03, BAI07.04 o BAI07.05 como aceptación formal, porque no se presenta un acta de conformidad que permita atribuir ese alcance.

Las limitaciones de la validación deben conservarse junto con los resultados: se evaluó una versión de AquaTrace, con dos participantes del contratista; la conectividad limitada se verificó sobre trámites previamente disponibles en caché; las pruebas de acceso se restringieron al cliente oficial; y la verificación de PF-04 combinó ejecución directa con revisión técnica para algunas suboperaciones que no disponen de una captura independiente. Estas delimitaciones no invalidan la evidencia obtenida, pero definen con precisión el alcance dentro del cual pueden interpretarse los resultados.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

El estudio de las herramientas tecnológicas aplicables a la gestión de evidencias fotográficas permitió determinar que las soluciones de propósito general, como la mensajería instantánea y las carpetas compartidas, facilitan el intercambio o centralización de archivos, pero mantienen una dependencia significativa de la clasificación manual para asociar cada fotografía con el trámite correspondiente. Las plataformas de recopilación estructurada, como ODK y KoboToolbox, incorporan formularios, fotografías y funcionamiento bajo conectividad limitada; sin embargo, los flujos específicos de registro, los controles de acceso, la organización documental y la generación de reportes requeridos por el contratista demandan configuración o desarrollo complementario. A partir de este análisis y de la evaluación de alternativas frente a los requerimientos definidos, se justificó el empleo de Flutter y los servicios de Firebase como base tecnológica de AquaTrace, permitiendo atender el primer objetivo específico mediante una selección sustentada en las necesidades reales del proceso y en las condiciones del proyecto.

El levantamiento y análisis de las necesidades del personal del contratista permitió transformar las problemáticas del procedimiento previo en una especificación técnica trazable, compuesta por diez requerimientos de los stakeholders, dieciséis requerimientos funcionales del sistema y nueve requerimientos de arquitectura. A partir de estos elementos se definió una arquitectura organizada en los módulos de presentación e interfaces, procesamiento y lógica en el cliente, integración con servicios administrados de Firebase, y generación y salida documental. La incorporación de COBIT 2019 permitió mantener la relación entre necesidades, requerimientos, diseño y comprobaciones mediante las referencias del ciclo de vida correspondientes a BAI02 y BAI03, complementadas con criterios derivados de DSS y MEA cuando existía una relación

específica con identidad, procesamiento, autoridad, trazabilidad o revisión administrativa. De esta manera, el segundo objetivo específico se concretó mediante un diseño verificable y relacionado directamente con los requerimientos identificados, evitando incorporar controles o funciones que no respondieran al alcance establecido.

La implementación de AquaTrace permitió materializar los requerimientos definidos mediante funciones para autenticación y separación de perfiles, gestión de cuentas, registro progresivo de las fotografías Antes, Durante y Después, asociación de las evidencias con un identificador único de trámite, determinación de los estados Pendiente y Completado, persistencia local y sincronización, consulta administrativa, generación de documentos PDF y registro de eventos de auditoría. Las evidencias fotográficas se almacenaron como datos binarios dentro de los documentos de Cloud Firestore y se aplicaron mecanismos de compresión y validación para mantener su tamaño dentro de las condiciones previstas por el sistema. El cierre de trazabilidad registró cumplimiento para los veinticinco requerimientos funcionales y de arquitectura evaluados. En esta etapa, BAI03.03 y BAI03.05 sirvieron como referencia para documentar el desarrollo, construcción e integración de la solución, mientras que DSS05.04, DSS06.02, DSS06.03, DSS06.05 y MEA02.01 aportaron criterios concretos para los controles incorporados. Esta relación no representa la implementación integral ni una certificación de COBIT 2019, sino la aplicación delimitada del marco al ciclo de vida y a los controles pertinentes de AquaTrace.

La evaluación funcional, de integración, técnica, de eficiencia y de facilidad de uso permitió comprobar el comportamiento de AquaTrace dentro de las condiciones establecidas para el entorno de prueba del contratista. En la medición E-01, correspondiente a la búsqueda y apertura de un trámite, se obtuvieron tiempos de 15, 12 y 17 segundos, con un promedio de 14,67 segundos y sin errores. Para E-02, la generación y presentación de un reporte consolidado con 101 trámites

registró tiempos de 62, 64 y 59 segundos, equivalentes a un promedio de 61,67 segundos, también sin errores. En la evaluación de facilidad de uso se completaron las seis tareas planteadas para los perfiles participantes; se requirió orientación verbal inicial en algunas operaciones relacionadas con la ubicación de pantallas, pero esta dificultad no impidió completar las actividades ni produjo errores funcionales durante las tareas observadas. Por tanto, los resultados respaldan el funcionamiento y la eficiencia del sistema en el escenario evaluado, sin generalizarlos a otros dispositivos, redes, cantidades de información o grupos de usuarios.

En conjunto, el desarrollo y la validación realizada permiten establecer que se alcanzó el objetivo general del trabajo dentro del alcance definido, al obtenerse un sistema que estructura el registro, organización, almacenamiento, consulta y salida documental de las evidencias fotográficas generadas durante las instalaciones de medidores de agua potable ejecutadas por el contratista. AquaTrace sustituye la dependencia de la clasificación manual de fotografías por un flujo en el que la evidencia permanece asociada al trámite y puede ser recuperada posteriormente por el personal autorizado, manteniendo además controles de acceso y registros de las acciones relevantes. La generación consolidada de 101 trámites en un promedio de 61,67 segundos evidencia la automatización de una parte significativa del proceso documental; no obstante, no se estableció un porcentaje de reducción respecto al procedimiento anterior, debido a que la referencia de aproximadamente tres jornadas utilizadas para el proceso manual corresponde a una estimación operativa y no a una medición experimental equivalente. La contribución de COBIT 2019 se mantuvo delimitada a la trazabilidad del ciclo de vida y a los criterios de control aplicables, sin presentar los resultados como una evaluación de capacidad, auditoría o certificación del marco.

Recomendaciones

Se recomienda realizar una inducción breve al conductor y a la responsable administrativa antes del uso habitual de AquaTrace, con énfasis en la ubicación de las pantallas y funciones correspondientes a cada perfil. La evaluación de facilidad de uso evidenció que las operaciones pudieron completarse, pero algunas tareas requirieron orientación verbal inicial para localizar el módulo correspondiente. Una capacitación centrada en la navegación, y no en modificar las funciones implementadas, permitiría reducir este período inicial de familiarización y aprovechar de forma más directa las capacidades disponibles en el sistema.

Para jornadas de trabajo en sectores donde la conectividad pueda ser intermitente, se recomienda acceder previamente, mientras exista conexión, a los trámites Pendientes que se prevea atender en campo. La prueba de conectividad limitada demostró la conservación y posterior sincronización de modificaciones efectuadas sobre información previamente disponible en la persistencia local. Por esta razón, la precarga constituye una medida operativa conveniente para aprovechar el comportamiento comprobado de AquaTrace sin depender de que exista conectividad continua durante toda la actividad.

Se recomienda mantener el mecanismo actual de compresión de las evidencias fotográficas y supervisar periódicamente el tamaño de los documentos almacenados en Cloud Firestore conforme aumente la utilización del sistema. Las fotografías forman parte del propio documento del trámite como objetos binarios, por lo que la conservación del objetivo de compresión definido y de las validaciones previas a la escritura resulta importante para mantener la arquitectura implementada dentro de los límites documentales previstos. De igual manera, conviene repetir las mediciones de generación de reportes cuando el volumen de trámites aumente de manera

considerable, con el propósito de identificar oportunamente variaciones en los tiempos de procesamiento sin modificar innecesariamente la arquitectura que ya fue validada.

Se recomienda efectuar las actualizaciones de Flutter, Firebase y de las dependencias utilizadas en AquaTrace mediante un procedimiento controlado, verificando posteriormente las funciones críticas del sistema. Después de una actualización relevante deberían repetirse las comprobaciones relacionadas con autenticación y perfiles, registro de evidencias, persistencia y sincronización, consulta administrativa, generación documental y auditoría. Esta práctica permitiría conservar la correspondencia entre la versión operativa y el comportamiento validado durante el presente trabajo, reduciendo la posibilidad de introducir incompatibilidades derivadas de cambios en bibliotecas o servicios externos.

Se recomienda establecer una revisión administrativa periódica de las cuentas y de la bitácora disponible en AquaTrace. La comprobación del estado de las cuentas permitiría mantener actualizados los accesos del personal del contratista, mientras que la revisión de los eventos registrados facilitaría identificar las acciones realizadas sobre usuarios, trámites y reportes. Esta medida aprovecha los controles ya implementados y mantiene la aplicación práctica de los criterios derivados de DSS05.04 para identidad y acceso, DSS06.05 para trazabilidad y MEA02.01 como información disponible para revisión administrativa, sin atribuir a estas actividades un cumplimiento integral de COBIT 2019.

En una futura utilización de AquaTrace a mayor escala se recomienda ampliar la validación con un número mayor de usuarios, diferentes dispositivos móviles, diversas condiciones de conectividad y conjuntos de datos superiores a los utilizados en este trabajo. La evaluación realizada permitió verificar el sistema con los dos perfiles directamente vinculados con el proceso del contratista y bajo condiciones controladas, por lo que una ampliación permitiría establecer

métricas de comportamiento representativas de otros escenarios operativos. Si posteriormente se requiere formalizar la transición del sistema hacia una operación productiva estable, también se recomienda documentar participantes, entorno, criterios de aceptación, resultados, fecha y conformidad de los responsables; solo con dicha evidencia sería apropiado establecer una relación formal con las prácticas de aceptación de BAI07 de COBIT 2019.

REFERENCIAS

Agencia de Regulación y Control del Agua. (2016). *REGULACIÓN Nro. DIR-ARCA-RG-003-2016*. https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/2020/02/Regulaci%C3%B3n-DIR-ARCA-RG-003-2016.pdf

Agencia de Regulación y Control del Agua. (2022). *REGULACIÓN Nro. DIR-ARCA-RG-011-2022*. https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/07/Regulacion-DIR-ARCA-RG-011-2022-Uso-Eficiente-del-agua-signed.pdf

Android Developers. (s. f.). *Aspectos fundamentales de la app | App architecture | Android Developers*. Recuperado 21 de marzo de 2026, de https://developer.android.com/guide/components/fundamentals?hl=es-419

Android Open Source Project. (s. f.). *Zona de pruebas para aplicaciones | Android Open Source Project*. Recuperado 21 de marzo de 2026, de https://source.android.com/docs/security/app-sandbox

Asamblea Nacional del Ecuador. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. Registro Oficial Suplemento 305, 6 de agosto de 2014.* https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/td_ley_de_recursos_hidricos_usos_y_aprovechamiento_del_agua_31-07-2014.pdf

Bravo Rivera, I. R. (2021). *Análisis comparativo entre frameworks, para el desarrollo de aplicaciones móviles multiplataformas*. http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9473

Camera & Imaging Products Association. (2019). *Exchangeable image file format for digital still cameras: Exif Version 2.32*.

Dart. (s. f.-a). *Asynchronous programming*. Recuperado 21 de marzo de 2026, de https://dart.dev/language/async

Dart. (s. f.-b). *Dart overview*. Recuperado 21 de marzo de 2026, de https://dart.dev/overview

Dart. (s. f.-c). *Understanding null safety*. Recuperado 22 de marzo de 2026, de https://dart.dev/null-safety/understanding-null-safety

Díaz, A., Orlando, R., Cleves, R., & Luis, J. (2014). Almacenamiento en la nube. *Universidad Piloto de Colombia*. http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/2969

EY, & ITahora. (2024). *Informe Tendencias y Prioridades IT Ecuador 2024*. https://content.bhybrid.com/publication/18eb6028/mobile/?hs=d1e72b6e

EY, & ITahora. (2025). *Informe Tendencias y Prioridades IT Ecuador 2025*. https://content.bhybrid.com/publication/fa9a088d/mobile/?hs=89a78ca4

Firebase. (s. f.-a). *Accede a datos sin conexión | Firestore | Firebase*. Recuperado 22 de marzo de 2026, de https://firebase.google.com/docs/firestore/manage-data/enable-offline?hl=es-419

Firebase. (s. f.-b). *Agrega Firebase a tu app de Flutter*. Recuperado 22 de marzo de 2026, de https://firebase.google.com/docs/flutter/setup?hl=es-419

Firebase. (s. f.-c). *Autentica con Firebase mediante cuentas con contraseña en Flutter | Firebase Documentation*. Recuperado 22 de marzo de 2026, de https://firebase.google.com/docs/auth/flutter/password-auth?hl=es-419

Firebase. (s. f.-d). *Modelo de datos de Cloud Firestore | Firebase*. Recuperado 22 de marzo de 2026, de https://firebase.google.com/docs/firestore/data-model?hl=es-419

Firebase. (s. f.-e). *Uso y límites | Firestore | Firebase*. Recuperado 22 de marzo de 2026, de https://firebase.google.com/docs/firestore/quotas?hl=es-419

Flutter. (s. f.). *Flutter - Build apps for any screen*. Recuperado 21 de marzo de 2026, de https://flutter.dev/

Get ODK Inc. (s. f.-a). *ODK Central - ODK Docs*. Recuperado 22 de marzo de 2026, de https://docs.getodk.org/central-intro/

Get ODK Inc. (s. f.-b). *ODK Collect - ODK Docs*. Recuperado 22 de marzo de 2026, de https://docs.getodk.org/collect-intro/

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

Howell, G., Franklin, J. M., Sritapan, V., Souppaya, M., & Scarfone, K. (2023). *Guidelines for Managing the Security of Mobile Devices in the Enterprise*. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-124r2

Innova T LATAM. (2024). *Innova T LATAM 2024 - Día 1 - YouTube*. https://www.youtube.com/watch?v=-OCmI6fjeE4&ab_channel=InnovaTLatam

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2025). *IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements - Part 11: Wireless Local Area Network (LAN) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. https://standards.ieee.org/ieee/802.11/10548/

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001:2015 - Sistemas de gestión de calidad*. https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/20/62085.html

International Organization for Standardization. (2016). *ISO 15489-1:2016 - Información y documentación — Gestión de registros — Parte 1: Conceptos y principios*. https://www.iso.org/standard/62542.html

International Organization for Standardization. (2020). *ISO 32000-2:2020 - Document management — Portable document format — Part 2: PDF 2.0*. https://www.iso.org/standard/75839.html

International Organization for Standardization. (2024). *ISO 4064-1:2024 - Water meters for cold potable water and hot water — Part 1: Metrological and technical requirements*. https://www.iso.org/standard/80868.html

International Organization for Standardization. (2025). *ISO 4064-5:2025 - Water meters for cold potable water and hot water — Part 5: Installation requirements*. https://www.iso.org/standard/86241.html

International Organization for Standardization, & International Electrotechnical Commission. (1994). *ISO/IEC 10918-1:1994 - Information technology — Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines*. https://www.iso.org/standard/18902.html

International Organization for Standardization, & International Electrotechnical Commission. (2024). *ISO/IEC 38500:2024 - Information technology — Governance of IT for the organization*. https://www.iso.org/standard/81684.html

ISACA. (2018a). *COBIT 2019 Framework: Governance and Management Objectives*. https://www.isaca.org/resources/cobit

ISACA. (2018b). *COBIT 2019 Framework: Introduction and Methodology*. https://www.isaca.org/resources/cobit

Kent, K., & Souppaya, M. P. (2006). *Guide to computer security log management*. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-92

Kobo Inc. (2026). *Introduction to KoboToolbox — KoboToolbox documentation*. https://support.kobotoolbox.org/welcome.html

Laudon, K. C. ., & Laudon, J. P. . (2016). *Sistemas de información gerencial (14. ed.)*. 684. https://books.google.com/books/about/Sistemas_de_informaci%C3%B3n_gerencial.html?hl=es&id=QIEWtAEACAAJ

Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2022). *AGENDA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL ECUADOR – Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información*. https://www.telecomunicaciones.gob.ec/agenda-de-transformacion-digital-ecuador/

Organización de las Naciones Unidas. (s. f.). *Infraestructura - Desarrollo Sostenible*. Recuperado 5 de abril de 2025, de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/

Ortiz-Clavijo, L. F., Fernández-Ledesma, J. D., Cadavid-Nieto, S., & Gallego-Duque, C. J. (2018). Computación en la Nube, estudio de herramientas orientadas a la Industria 4.0. *Lámpsakos (revista descontinuada)*, (20), 68-75. https://doi.org/10.21501/21454086.2560

Pressman, R. S. (2010). *Software engineering: A practitioner's approach* (7.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Royce, W. W. (1970). Managing the development of large software systems. *Proceedings of IEEE WESCON*, 1-9.

Sadalage, P. J., & Fowler, M. (2012). *NoSQL distilled: A brief guide to the emerging world of polyglot persistence*. Addison-Wesley.

Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025*. https://www.planificacion.gob.ec/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025/

Vittone, J., & Cuello, J. (2013). Diseñando apps para móviles. *GoogleAcademico*, *0*. https://books.google.com/books/about/Dise%C3%B1ando_apps_para_m%C3%B3viles.html?hl=es&id=ATiqsjH1rvwC

World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addend*. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/69c17edd-ee26-425b-9d34-33799377e886/content

World Health Organization, & UNICEF. (2023). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2022: Special focus on gender*. https://data.unicef.org/resources/jmp-report-2023/

Anexos

Anexo A

Cuestionario sobre el proceso de registro de evidencias fotográficas en instalaciones de medidores

Instrucciones: Marque la opción que mejor describa su situación actual en el proceso de trabajo.

Sección 1 — Contexto operativo

1. ¿Con qué frecuencia las instalaciones de medidores se realizan en sectores con cobertura móvil limitada o inestable? *

- ○ Frecuentemente
- ◉ Ocasionalmente
- ○ Rara vez
- ○ Nunca

2. ¿Durante una jornada debe registrar evidencias de varias instalaciones o frentes de trabajo en paralelo? *

- ◉ Frecuentemente
- ○ Ocasionalmente
- ○ Rara vez
- ○ Nunca

Sección 2 — Registro de evidencias

3. ¿Cómo registra actualmente las fotografías de las instalaciones realizadas? *

- ○ Fotografías en el celular
- ◉ Envío por WhatsApp
- ○ Carpeta organizada en el dispositivo
- ○ Otros: _____

4. ¿Cuánto tiempo efectivo tarda aproximadamente en capturar, identificar y enviar las fotografías correspondientes a un trámite, sin considerar el tiempo de ejecución de la instalación? *

- ○ Menos de 2 minutos
- ◉ De 2 a 5 minutos
- ○ De 6 a 10 minutos
- ○ Otros: _____

5. ¿Las fotografías tomadas quedan siempre asociadas correctamente al número de trámite correspondiente? *

- ○ Siempre
- ○ Casi siempre
- ◉ A veces
- ○ Nunca

6. ¿Ha ocurrido que fotografías de instalaciones no se envíen, se pierdan o se confundan durante el proceso de envío? *

- ○ Frecuentemente
- ◉ Ocasionalmente
- ○ Rara vez
- ○ Nunca

Sección 3 — Evidencia del proceso

7. ¿Qué tan importante considera registrar el proceso de instalación mediante fotografías del antes, durante y después? *

- ◉ Muy importante
- ○ Importante
- ○ Poco importante
- ○ No necesario

8. ¿Cuál es el principal motivo por el que un trámite puede quedar pendiente durante la jornada? *

- ○ La instalación todavía no ha finalizado
- ◉ Falta capturar una o más fotografías
- ○ Se debe atender otro frente de trabajo antes de completar el registro
- ○ Otros: _____

9. ¿El envío de evidencias fotográficas desde el lugar de instalación le resulta? *

- ○ Difícil
- ◉ Moderado
- ○ Fácil

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

Anexo B

Cuestionario sobre el proceso de gestión y organización de evidencias fotográficas en instalaciones de medidores

Instrucciones: Marque la opción que mejor describa su situación actual en el proceso de trabajo.

Sección 1 — Recepción de evidencias

1. ¿Qué medio utiliza actualmente el personal de campo para enviar las evidencias fotográficas de las instalaciones? *

- (●) WhatsApp
- ( ) Correo electrónico
- ( ) Transferencia directa de archivos
- ( ) Otros: .....

2. ¿Las fotografías recibidas llegan correctamente identificadas con el número de trámite correspondiente? *

- ( ) Siempre
- ( ) Casi Siempre
- (●) A veces
- ( ) Nunca

Sección 2 — Organización de evidencias

3. ¿Debe organizar manualmente las fotografías según cada trámite para su posterior uso? *

- (●) Sí
- ( ) No

4. ¿El proceso de organización de fotografías por trámite le resulta? *

- ( ) Muy demorado
- (●) Demorado
- ( ) Rápido
- ( ) Muy rápido

5. ¿Con qué frecuencia puede identificar correctamente el número de trámite, el conductor y la fecha correspondientes a cada grupo de fotografías?

- ○ Frecuentemente
- ○ Ocasionalmente
- ◉ Rara vez
- ○ Nunca

6. ¿Con qué frecuencia debe corregirse un número de trámite registrado incorrectamente?

- ○ Frecuentemente
- ○ Ocasionalmente
- ◉ Rara vez
- ○ Nunca

Sección 3 — Generación de reportes

7. ¿La elaboración de reportes que incluyen fotografías de instalaciones le resulta? *

- ◉ Muy demorada
- ○ Demorada
- ○ Rápida
- ○ Muy rápida

8. ¿Qué actividad consume más tiempo durante el procedimiento actual de elaboración de reportes? *

- ○ Descargar las fotografías recibidas
- ◉ Ordenar las fotografías según el número de trámite
- ○ Verificar si existen fotografías faltantes
- ○ Elaborar el reporte final
- ○ Otros: .....

9. ¿Cuánto tiempo tarda aproximadamente en procesar 100 trámites, incluyendo la descarga, organización y verificación de las fotografías y la elaboración del reporte? *

- ○ Menos de 1 jornada laboral
- ○ De 1 a 2 jornadas laborales
- ◉ Alrededor de 3 jornadas laborales
- ○ Más de 3 jornadas laborales
- ○ No se han procesado 100 trámites en un mismo reporte

10. ¿Ha ocurrido pérdida, duplicación o confusión de fotografías durante la elaboración de informes?

- ○ Frecuentemente
- ◉ Ocasionalmente
- ○ Rara vez
- ○ Nunca

11. ¿Qué modalidad de reporte se requiere con mayor frecuencia?

- ○ Reporte individual de un trámite
- ○ Reporte consolidado de varios trámites
- ◉ Ambas modalidades con una frecuencia similar

Sección 4 — Necesidad de organización

12. ¿Considera necesario contar con un sistema que organice automáticamente las evidencias fotográficas según el número de trámite?

- ◉ Muy necesario
- ○ Necesario
- ○ Poco necesario
- ○ No necesario

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

Anexo C

Ficha de observación de facilidad de uso de AquaTrace

La observación se centró en tareas representativas de los perfiles conductor y responsable administrativa. Se registró la finalización de la tarea, la ayuda requerida y las dificultades observadas durante el uso.

Perfil	Tarea	Completada	Ayuda	Errores	Observación
Conductor	Iniciar sesión y acceder al módulo del conductor	Sí	Ninguna	0	Acceso realizado sin dificultad.
Conductor	Abrir un trámite Pendiente propio	Sí	Verbal	0	Requirió orientación inicial para ubicar la pantalla; después completó la tarea con facilidad.
Conductor	Agregar o sustituir una evidencia y guardar el trámite	Sí	Ninguna	0	Una vez ubicado el módulo, realizó el registro y guardado con facilidad.
Responsable administrativa	Buscar un trámite y abrir su detalle	Sí	Verbal	0	Requirió orientación inicial para ubicar la pantalla de trámites; luego completó la tarea con facilidad.
Responsable administrativa	Generar y visualizar un documento PDF	Sí	Ninguna	0	La generación y visualización del documento se realizó sin dificultad.
Responsable administrativa	Consultar la bitácora de auditoría	Sí	Verbal	0	La dificultad se limitó a ubicar inicialmente la pantalla de auditoría; después la consulta fue sencilla.

Resultado descriptivo. Las tareas observadas fueron completadas por ambos perfiles. La principal dificultad identificada correspondió a la ubicación inicial de determinadas pantallas, para lo cual se requirió orientación verbal puntual. Una vez localizada la función correspondiente, la interacción con AquaTrace se realizó con facilidad y no se observaron errores que impidieran completar las tareas evaluadas.

Los resultados son descriptivos y corresponden únicamente a los dos perfiles directamente vinculados con el proceso del contratista; no se interpretan como una evaluación estadística de usabilidad. Elaboración propia.

Anexo D

Manual de usuario del Conductor

Este manual explica el uso de AquaTrace desde el perfil Conductor. El procedimiento se centra en ingresar al sistema, registrar o localizar un trámite, asociar las fotografías Antes, Durante y Después, guardar los cambios y comprobar el estado del registro.

Antes de utilizar AquaTrace

- Utilice únicamente la cuenta entregada por el administrador.
- Para registrar un trámite nuevo debe existir conexión a Internet.
- Antes de trabajar en una zona sin señal, abra con Internet los trámites Pendientes que se atenderán durante la jornada.
- No comparta la contraseña ni deje una sesión abierta en un teléfono que pueda utilizar otra persona.

Pantallas principales

Pantalla	Uso
Inicio	Busca los trámites propios y permite continuar los Pendientes.
Trámite	Verifica un número y registra un trámite nuevo con conexión.
Ayuda	Contiene orientación sobre registro, fotografías, uso sin conexión y seguridad.

Ingresar a AquaTrace

1. Abra AquaTrace en el teléfono.

2. Escriba el correo electrónico asignado.

3. Escriba la contraseña.

4. Pulse Iniciar sesión.



Primer ingreso y cambio obligatorio de contraseña

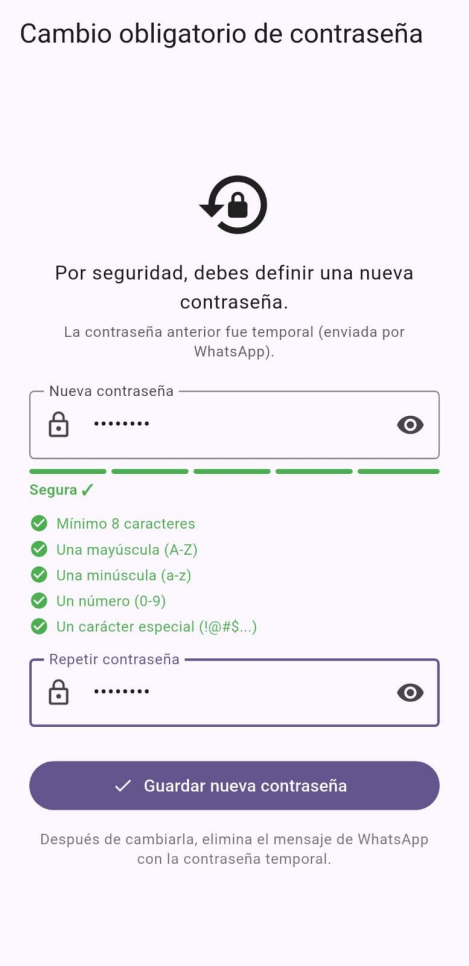
La contraseña entregada al crear la cuenta es temporal. En el primer ingreso se debe establecer una nueva contraseña antes de continuar.

1. Escriba una nueva contraseña de al menos ocho caracteres.

2. Incluya una letra mayúscula, una letra minúscula, un número y un carácter especial.

3. Repita exactamente la misma contraseña.

4. Pulse Guardar nueva contraseña.



Pantalla Inicio

En Inicio se muestran los trámites asociados al conductor. Buscar por número localiza un registro específico y Solo pendientes muestra únicamente los trámites que todavía pueden completarse.



Actualizar nombre, apellido o contraseña

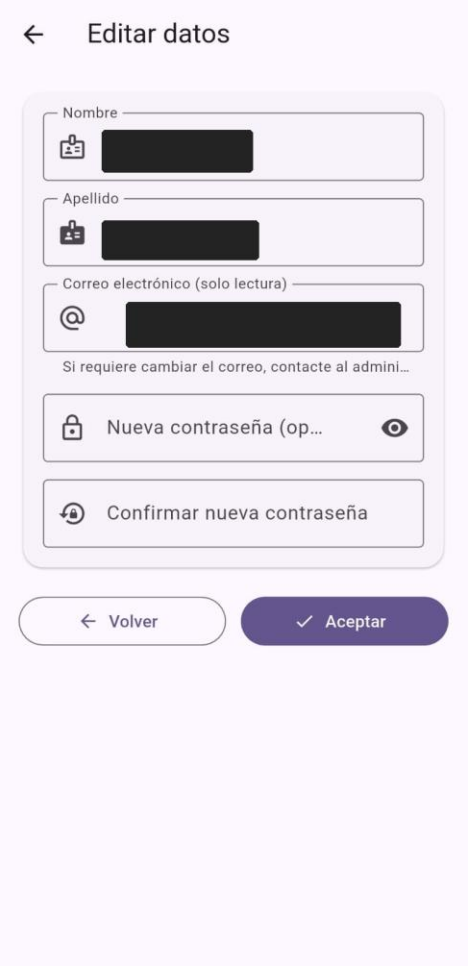
1. En Inicio pulse Editar datos.

2. Modifique el nombre o apellido únicamente cuando sea necesario.

3. El correo electrónico se muestra solo para consulta.

4. Si desea cambiar la contraseña, escriba la nueva contraseña y repítala.

5. Pulse Aceptar.



Registrar un trámite nuevo

El registro de un trámite nuevo se realiza con conexión a Internet.

1. Abra Trámite.

2. Escriba el número asignado.

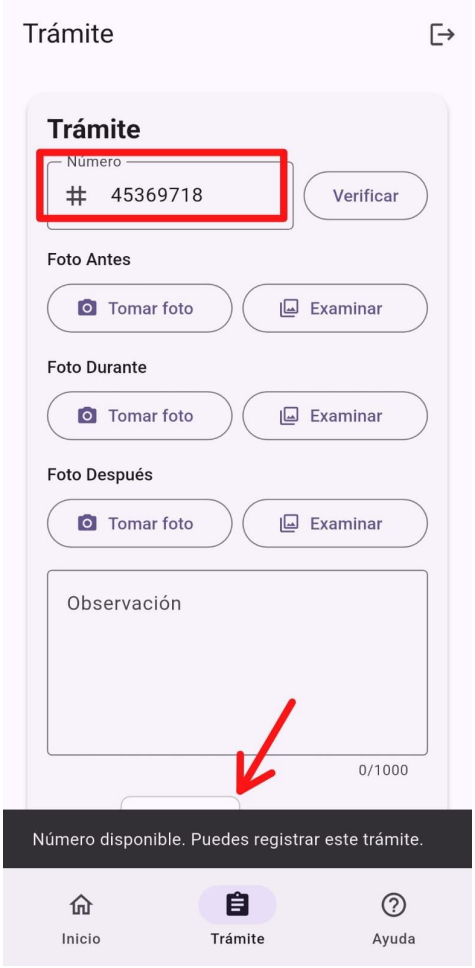
3. Pulse Verificar.

4. Continúe cuando AquaTrace indique que el número está disponible.

5. Cargue las fotografías disponibles y escriba una observación solo si es necesaria.

6. Pulse ACEPTAR para guardar.

Si el número ya existe, no cree un segundo registro con el mismo identificador.

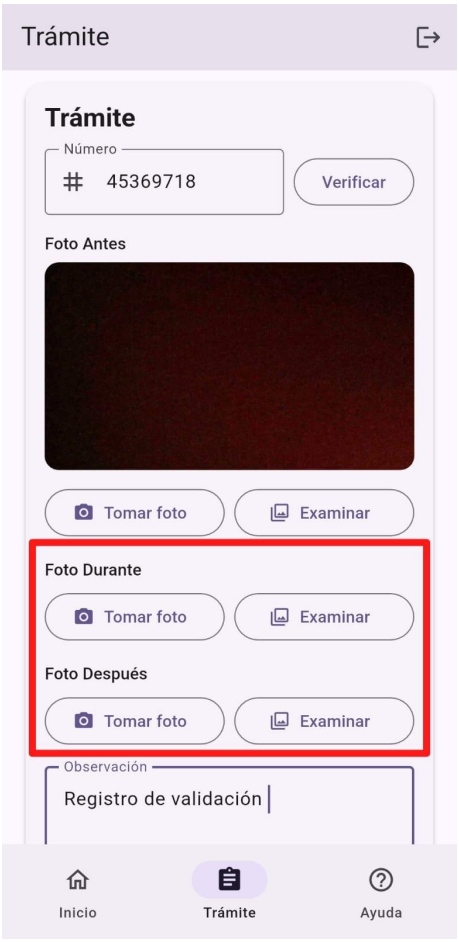


Registrar las fotografías

Cada trámite utiliza tres evidencias fotográficas. Tomar foto abre la cámara y Examinar permite seleccionar una imagen disponible en el teléfono.

- Antes: condición previa a la instalación.
- Durante: proceso de instalación.
- Después: resultado final.
- La observación admite hasta 1000 caracteres; la interfaz no permite escribir por encima de ese límite.

Si falta alguna fotografía, el trámite se guarda como Pendiente y puede completarse posteriormente.



Estados del trámite

Estado	Qué significa	Qué debe hacer
Pendiente	Falta al menos una fotografía.	Abrirlo y completar la evidencia faltante.
Completado	Las tres fotografías ya fueron registradas.	Verificar el estado; ya no se edita como Pendiente.

Continuar un trámite Pendiente

1. Abra Inicio.

2. Busque el número o active Solo pendientes.

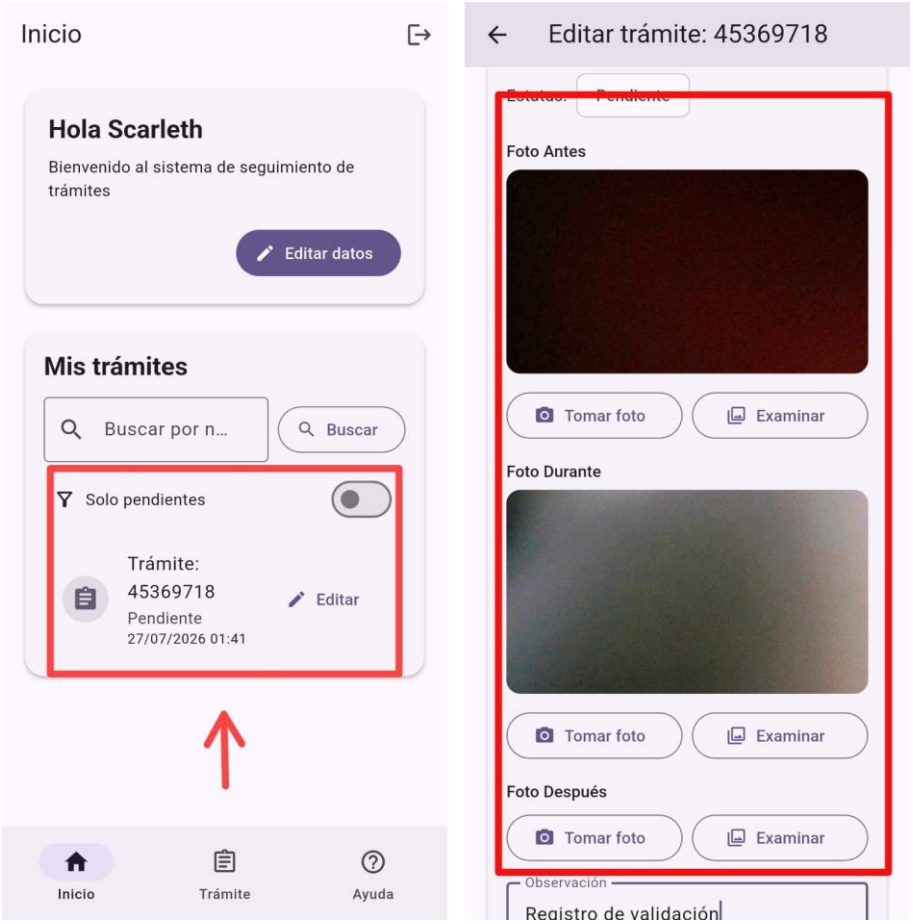
3. Pulse Editar.

4. Revise las fotografías guardadas.

5. Agregue la fotografía faltante o sustituya una existente.

6. Pulse Guardar.

La primera vista permite localizar el Pendiente; al abrirlo se recuperan las evidencias que ya estaban guardadas.



Trabajar sin conexión

AquaTrace permite continuar un trámite Pendiente sin conexión únicamente cuando ese trámite se abrió previamente con Internet y quedó disponible en el teléfono.

1. Antes de salir a una zona sin señal, abra con Internet los trámites Pendientes que utilizará.

2. Sin conexión, abra uno de esos trámites desde Inicio.

3. Agregue o sustituya las fotografías necesarias y guarde.

4. No repita el guardado varias veces.

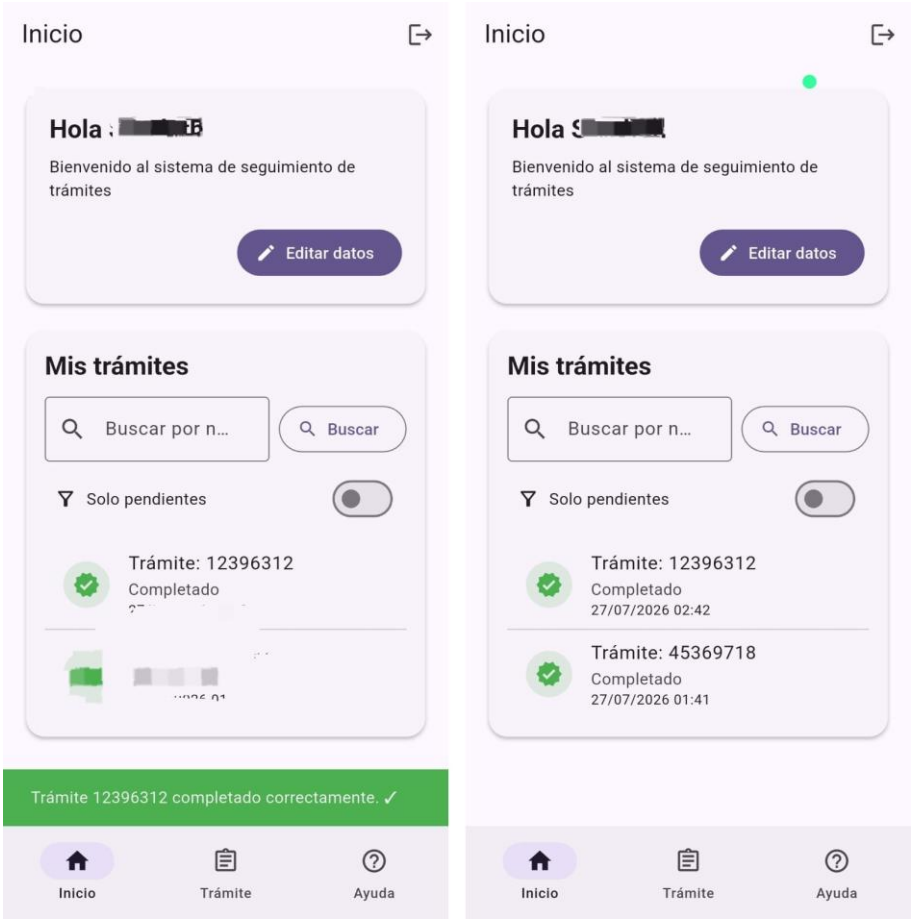
5. Cuando vuelva la conexión, mantenga AquaTrace abierta y espere a que los cambios se envíen automáticamente.

Sin conexión no se registran trámites nuevos.



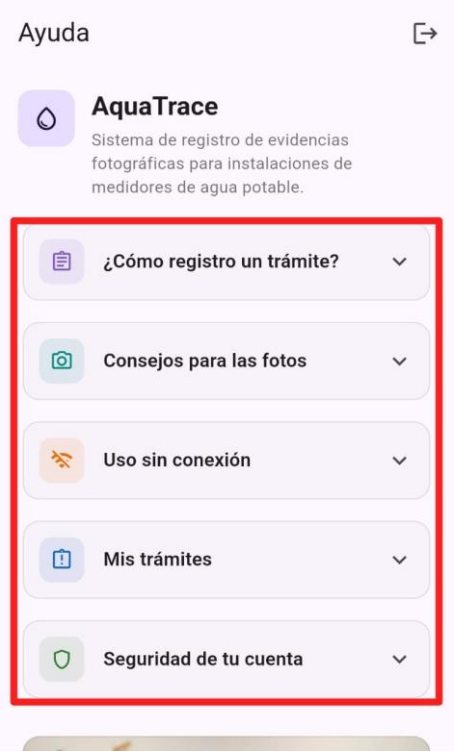
Comprobar que el trámite quedó Completado

Cuando las tres fotografías se han sincronizado correctamente, el registro cambia a Completado. Revise Inicio y confirme que el número correspondiente muestre ese estado.



Consultar la ayuda

Abra Ayuda cuando necesite recordar cómo registrar un trámite, cómo tomar las fotografías, cómo trabajar sin conexión o cómo proteger la cuenta.



Cerrar sesión

Al finalizar la jornada, pulse el icono de salida situado en la parte superior de la aplicación y confirme el cierre de sesión.

Problemas frecuentes

Situación	Qué hacer
No permite registrar un trámite nuevo.	Compruebe la conexión y vuelva a verificar el número.
El número aparece ocupado.	Revise el identificador. No cree un segundo trámite con el mismo número.
No aparece la pestaña Trámite.	Compruebe la conexión. Sin Internet no se registran números nuevos.
Un Pendiente no abre sin conexión.	Conéctese, ábralo una vez y espere a que cargue antes de volver a trabajar sin señal.
Sigue Pendiente después de cargar tres fotos sin conexión.	Restablezca la conexión y espere la sincronización. No vuelva a guardar repetidamente.
La cuenta fue suspendida.	Solicite al administrador que revise el estado de la cuenta.

Rutina recomendada

- Al iniciar la jornada, entre con conexión y revise los Pendientes.
- Antes de trabajar sin señal, abra los trámites que utilizará.
- Registre las evidencias en el orden Antes, Durante y Después.
- Antes de finalizar, compruebe que los trámites terminados aparezcan como Completados.
- Cierre sesión al terminar el trabajo.

Anexo E

Manual de usuario del Administrador

Este manual explica el uso de AquaTrace desde el perfil Administrador. El procedimiento comprende la gestión de usuarios, la consulta de trámites, la generación de documentos PDF y la revisión de la auditoría del sistema.

Pantallas principales

Pantalla	Uso
Inicio	Edita los datos de la propia cuenta, crea usuarios y gestiona su estado.
Trámites	Busca, filtra y revisa los trámites registrados.
Reporte	Genera un PDF consolidado con los trámites seleccionados.
Auditoría	Revisa acciones registradas y permite localizar eventos.
Ayuda	Contiene orientación sobre las funciones administrativas.

Ingresar a AquaTrace

1. Abra AquaTrace.

2. Escriba el correo electrónico administrativo.

3. Escriba la contraseña.

4. Pulse Iniciar sesión.



Primer ingreso y cambio obligatorio de contraseña

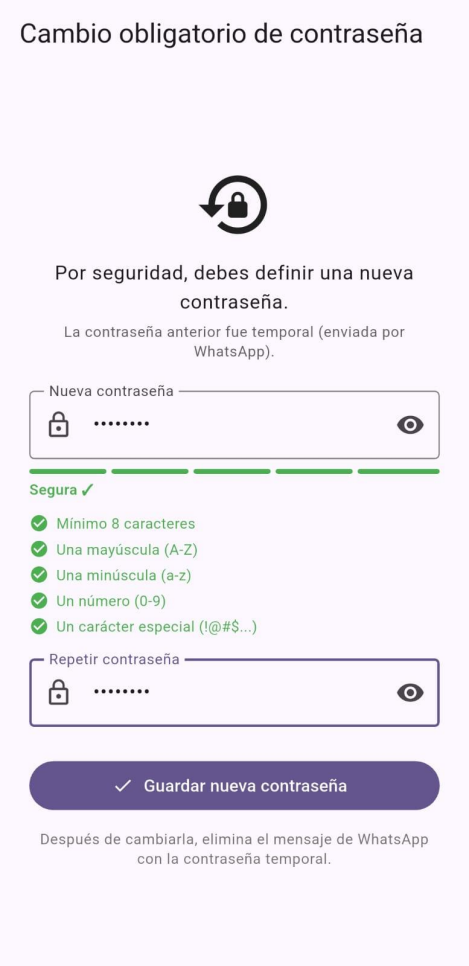
Si la cuenta fue creada con una contraseña temporal, AquaTrace solicitará establecer una nueva antes de abrir el panel administrativo.

1. Escriba una contraseña de al menos ocho caracteres.

2. Incluya mayúscula, minúscula, número y carácter especial.

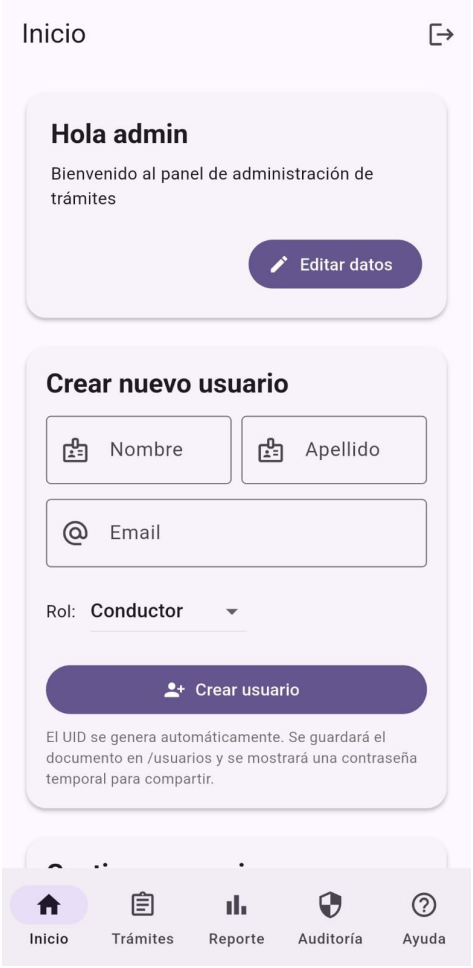
3. Repita la misma contraseña.

4. Pulse Guardar nueva contraseña.



Pantalla Inicio

Inicio contiene los datos de la cuenta administrativa, el formulario Crear nuevo usuario y la sección Gestionar usuarios. La barra inferior da acceso a Inicio, Trámites, Reporte, Auditoría y Ayuda.



Editar los datos de la propia cuenta

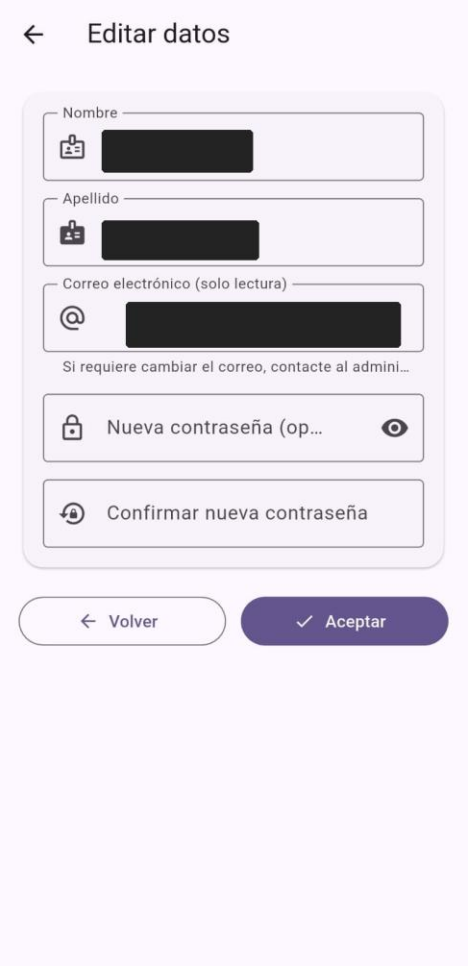
1. En Inicio pulse Editar datos.

2. Modifique nombre o apellido cuando sea necesario.

3. El correo electrónico se muestra solo para consulta.

4. Si desea cambiar la contraseña, escriba la nueva y repítala.

5. Pulse Aceptar.



Crear una cuenta de usuario

1. En Inicio localice Crear nuevo usuario.

2. Escriba nombre, apellido y correo.

3. Seleccione el rol correcto.

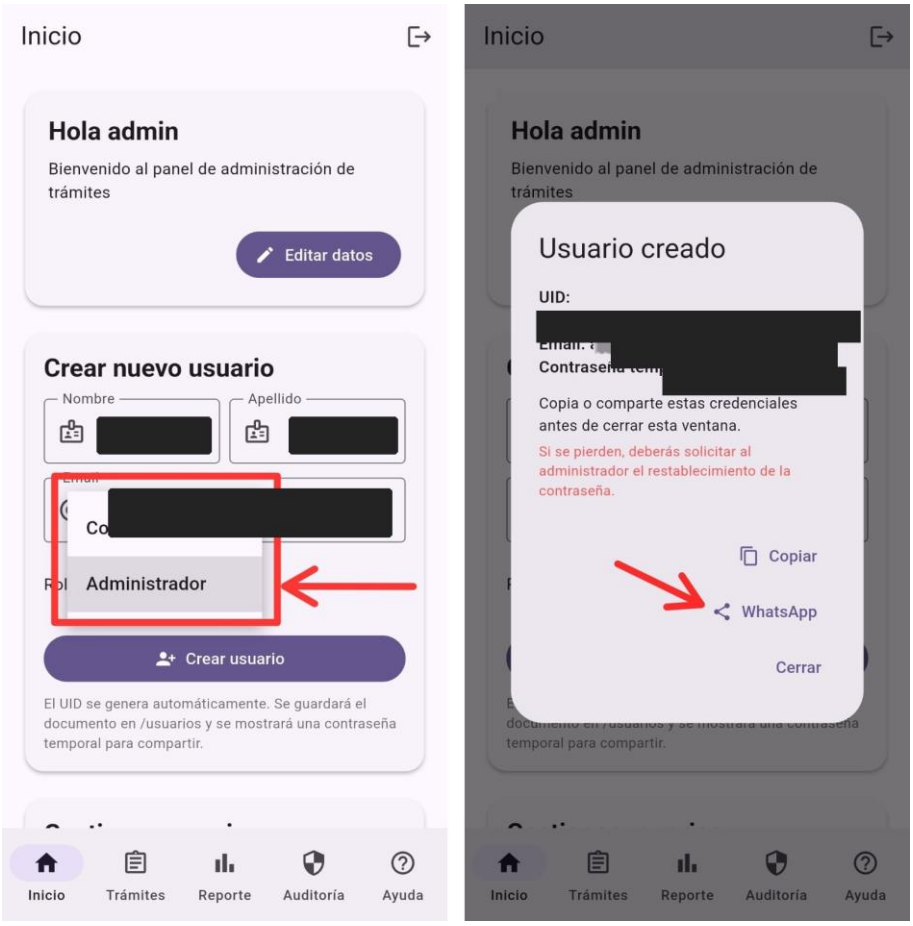
4. Pulse Crear usuario.

5. Guarde la contraseña temporal y compártala únicamente con la persona correspondiente.



Seleccionar el rol y entregar las credenciales

Antes de crear la cuenta, verifique si corresponde a Conductor o Administrador. Después de crearla, AquaTrace muestra una contraseña temporal que debe conservarse de forma privada hasta entregarla al usuario.



La nueva cuenta deberá cambiar la contraseña temporal durante su primer ingreso.

Suspender o reactivar una cuenta

La suspensión bloquea el acceso de la cuenta. Si el usuario tiene una sesión abierta, AquaTrace puede cerrarla cuando detecte el cambio.

1. En Inicio localice Gestionar usuarios.

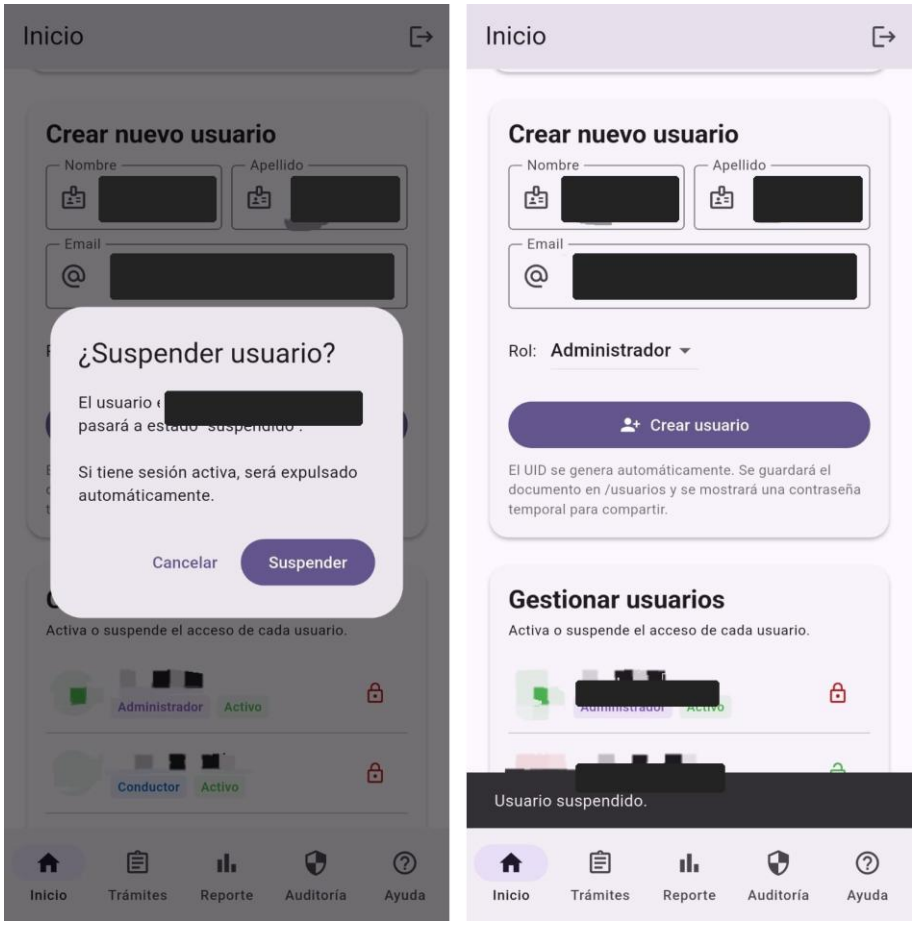
2. Busque la cuenta correspondiente.

3. Pulse la opción de suspensión o reactivación.

4. Revise el mensaje de confirmación.

5. Confirme únicamente después de verificar la cuenta.

No utilice esta función para cambiar el estado de la propia cuenta administrativa.



Buscar y filtrar trámites

Abra Trámites. Los filtros permiten localizar información sin revisar manualmente toda la lista.

Filtro	Uso
Número	Busca un trámite específico.
Estado	Selecciona Pendiente o Completado.
Conductor	Muestra los trámites asociados al conductor seleccionado.
Desde / Hasta	Limita los resultados a un rango de fechas.

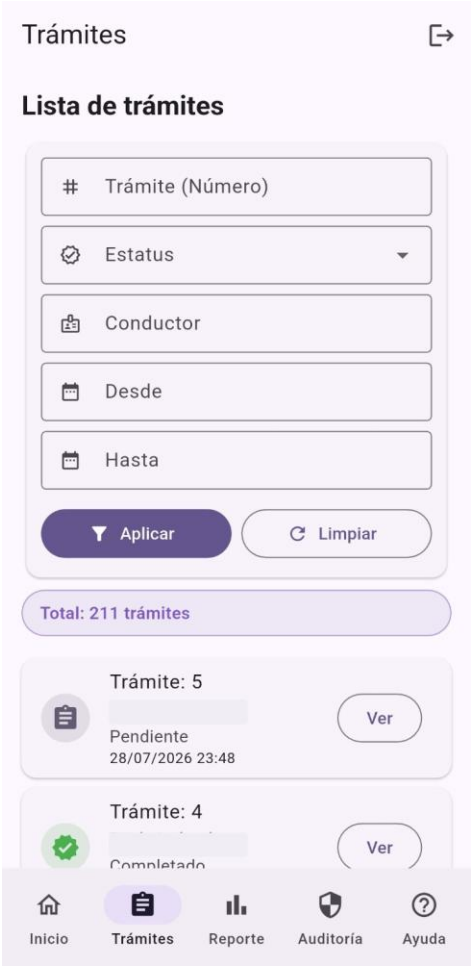
1. Seleccione uno o varios filtros.

2. Pulse Aplicar.

3. Revise que los resultados coincidan con el criterio utilizado.

4. Pulse Limpiar para retirar los filtros.

Cuando existan más registros de los mostrados inicialmente, utilice Cargar más para continuar la lista.



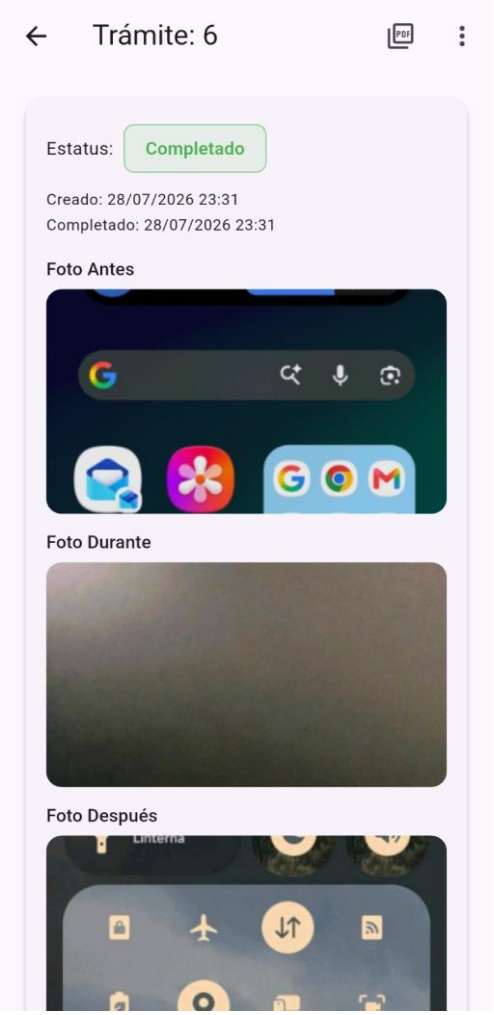
Revisar el detalle de un trámite

1. En Trámites localice el registro.

2. Pulse Ver.

3. Compruebe el número, estado, fechas, observación y fotografías.

4. Antes de modificar, eliminar o generar un documento, confirme que el trámite abierto sea el correcto.



Generar un PDF individual

1. Compruebe que el trámite corresponde al número requerido.

2. Pulse el icono PDF ubicado en la parte superior.

3. Espere la vista previa.

4. Revise el documento antes de compartirlo o imprimirlo.

Corregir el número de un trámite

1. Abra el detalle del trámite.

2. Pulse el menú de opciones de la parte superior.

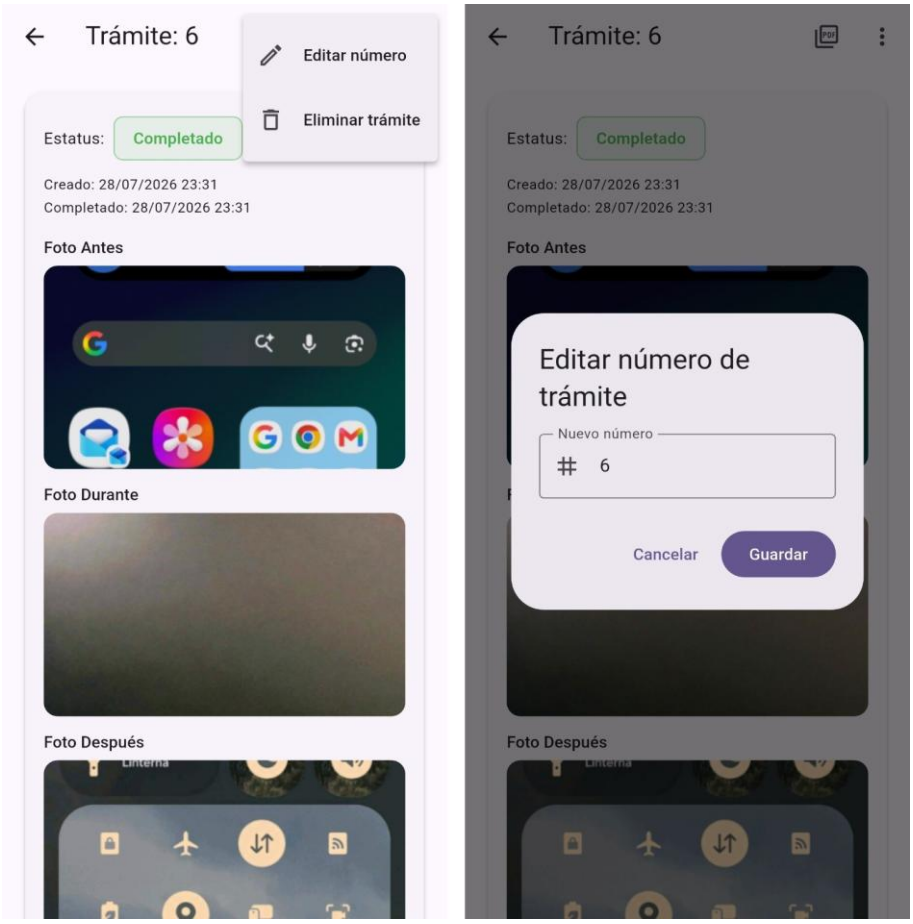
3. Seleccione Editar número.

4. Escriba el nuevo número.

5. Pulse Guardar.

6. Compruebe que el registro conserve sus fotografías y datos.

Si el nuevo número ya está ocupado, revise el dato antes de volver a intentar la corrección.



Eliminar un trámite

La eliminación debe utilizarse únicamente cuando exista certeza de que el registro debe retirarse.

1. Abra el detalle del trámite.

2. Revise nuevamente el número y las fotografías.

3. Abra el menú de opciones y pulse Eliminar trámite.

4. Lea el mensaje de confirmación.

5. Pulse Eliminar únicamente si el registro seleccionado es el correcto.

6. Después, vuelva a buscar el número para comprobar que ya no aparece.



Generar un reporte PDF consolidado

La pantalla Reporte permite reunir varios trámites en un mismo documento.

1. Abra Reporte.

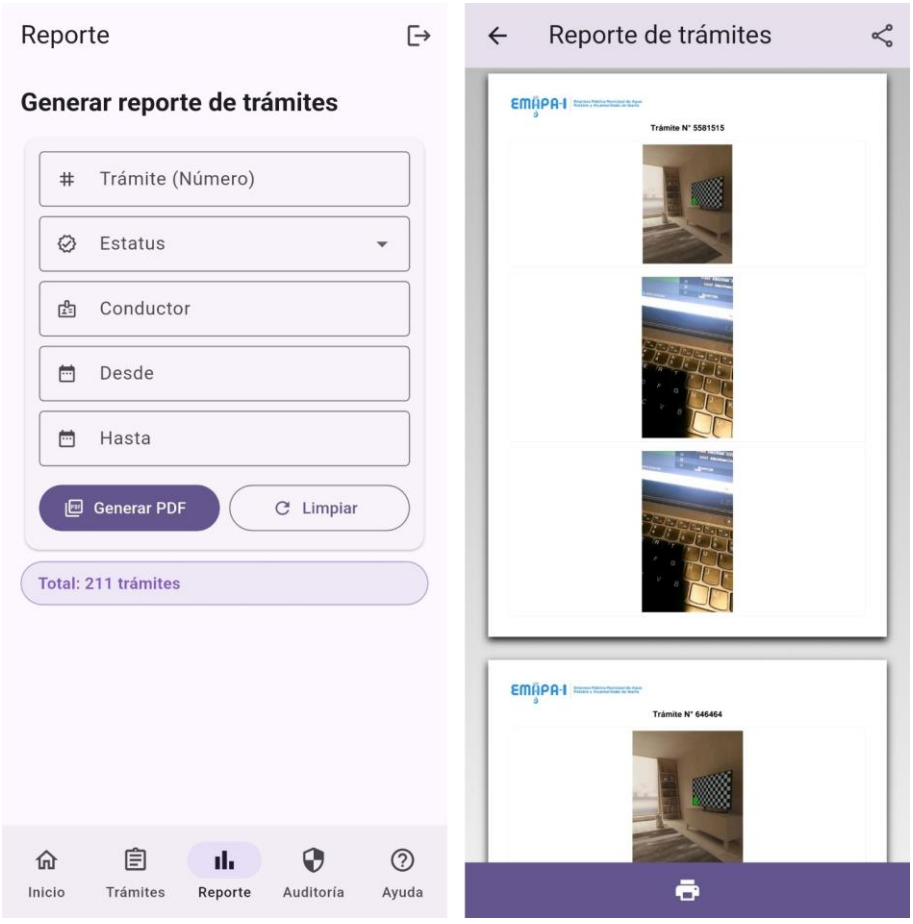
2. Seleccione los filtros necesarios: número, estado, conductor o rango de fechas.

3. Pulse Generar PDF.

4. Espere mientras AquaTrace prepara el documento.

5. Revise la vista previa antes de compartir o imprimir.

Si no existen registros que coincidan con los filtros, revise los criterios y vuelva a intentarlo.



Revisar la auditoría

Auditoría permite revisar las acciones registradas por AquaTrace. La búsqueda admite número de trámite, acción o correo electrónico.

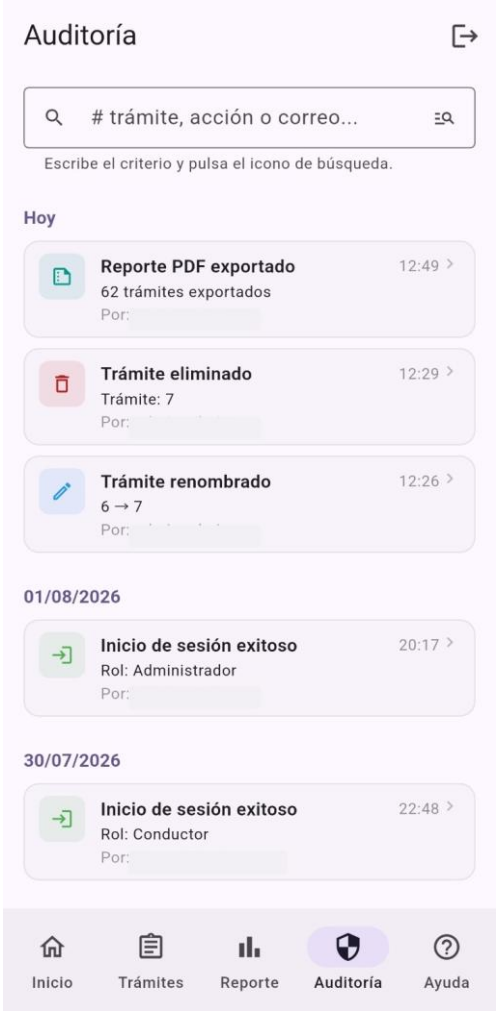
1. Abra Auditoría.

2. Escriba el criterio cuando necesite localizar un evento.

3. Pulse el icono de búsqueda.

4. Seleccione un registro para revisar la fecha, el actor, la acción y los datos relacionados.

5. Utilice Cargar más cuando necesite consultar registros anteriores.



Si un usuario olvida la contraseña

AquaTrace no incluye un botón interno para recuperar una contraseña olvidada. El usuario debe informar al responsable del sistema para que se realice el restablecimiento correspondiente. No se deben crear cuentas duplicadas para resolver este problema.

Consultar la ayuda

Abra Ayuda cuando necesite recordar cómo utilizar Trámites, Reporte, Usuarios o Auditoría. La sección también incluye recomendaciones de seguridad y resolución de problemas.

Cerrar sesión

Al finalizar la jornada, pulse el icono de salida situado en la parte superior de la aplicación y confirme Cerrar sesión.

Problemas frecuentes

Situación	Qué hacer
No puede ingresar.	Compruebe correo y contraseña. Si la cuenta está suspendida, debe reactivarse desde otra cuenta administrativa autorizada.
Un filtro no muestra resultados.	Pulse Limpiar y aplique nuevamente los criterios.
No se puede usar un nuevo número al renombrar.	El número puede estar ocupado; revise el identificador.
El reporte no contiene trámites.	Revise o elimine los filtros y vuelva a generar el documento.
Un usuario olvidó su contraseña.	Informe al responsable del sistema para que realice el restablecimiento.
No encuentra un registro en Auditoría.	Revise el criterio y utilice Cargar más si el registro es anterior.

Rutina recomendada

- Al iniciar la jornada, revise las cuentas que necesiten creación, suspensión o reactivación.
- Utilice los filtros para localizar trámites y revise el detalle antes de modificar información.
- Revise siempre la vista previa de los PDF antes de compartirlos.
- Consulte Auditoría cuando necesite verificar una acción realizada.
- Cierre sesión al terminar el trabajo.