UNIVERSIDAD MARIANO GÁLVEZ DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

"APLICACIÓN MÓVIL DE MONITOREO METEOROLÓGICO Y ALERTA DE RIESGOS CLIMÁTICOS PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN JALAPA"

MARLON STEVEN QUINTANA RECINOS

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2026.

UNIVERSIDAD MARIANO GÁLVEZ DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

APLICACIÓN MÓVIL DE MONITOREO METEOROLÓGICO Y ALERTA DE RIESGOS CLIMÁTICOS PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN JALAPA,

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO POR:
MARLON STEVEN QUINTANA RECINOS

PREVIO A OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
Y
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN.

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2026.

AUTORIDADES DE LA FACULTAD Y ASESOR
DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN.

DECANO DE LA FACULTAD: ING. JORGE ALBERTO ARIAS TOBAR.

SECRETARIO DE LA FACULTAD: ING. HUGO ADALBERTO HERNÁNDEZ SANTIZO.

ASESOR: ING. SHEYLA YADIRA ESQUIVEL

AUTORIZACIÓN PARA LA IMPRESIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN.

REGLAMENTO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Artículo 8: RESPONSABILIDAD

"Solamente el autor es responsable de los conceptos expresados en el trabajo de tesis. Su aprobación en manera alguna implica responsabilidad para la Universidad."

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I 3
ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN 3
1.1 Antecedentes 3
1.2 Justificación de la investigación 5
1.3 Planteamiento del problema 6
1.3.1 Descripción del problema 7
1.3.2 Formulación del problema 8
1.4 Preguntas de investigación 8
1.5 Objetivos de la investigación 9
1.5.1 Objetivo general 9
1.5.2 Objetivos específicos 9
1.5.3 Actividades de la Investigación 9
1.6 Alcances y límites 10
1.6.1 Alcances 10
1.6.2 Límites de la Investigación 11
1.6.3 Aspectos demográficos 12
1.6.4 Datos de la institución 13
1.7 Hipótesis 14
1.8 Definición conceptual de variables 14
1.8.1 Independientes 14
1.8.2 Dependientes 15
1.9 Definición Operacional de Variables 15
1.9.1 Independientes 16
1.9.2 Dependientes 17
1.10 Tipo de la investigación 18
1.11 Diseño de la investigación 19
1.12 Métodos y técnicas de investigación 20
1.12.1 Método científico 20
1.12.2 Método inductivo 21

1.12.3 Metodologías de desarrollo de software 21
1.13 Instrumento de recolección de datos 22
1.13.1 Objetivo del instrumento 23
1.13.2 Población estadística 23
1.13.3 Muestra 24
1.13.4 Cronograma 25
1.13.5 Resultados de la recolección de datos 26
1.13.5.1 Gráfica 1 27
1.13.5.2 Gráfica 2 28
1.13.5.3 Gráfica 3 29
1.13.5.4 Gráfica 4 30
1.13.5.5 Gráfica 5 31
1.13.5.6 Gráfica 6 32
1.13.5.7 Gráfica 7 33
1.13.5.8 Gráfica 8 34
1.13.5.9 Gráfica 9 35
1.13.5.10 Gráfica 10 36
1.13.5.11 Gráfica 11 37
1.13.5.12 Gráfica 12 38
1.13.5.13 Gráfica 13 39
1.13.5.14 Gráfica 14 40
1.13.5.15 Gráfica 15 41
1.13.5.16 Gráfica 16 42
1.13.5.17 Gráfica 17 43
1.13.5.18 Gráfica 18 44
1.13.6 Gráficas Cruzadas 45
1.13.6.1 Gráfica Cruzada 1 45
1.13.6.2 Gráfica Cruzada 2 46
1.13.6.3 Gráfica Cruzada 3 47
1.13.6.4 Gráfica Cruzada 4 48
1.13.6.5 Gráfica Cruzada 5 49

CAPÍTULO II 51
MARCO TEÓRICO 51
2.1 Fundamentos de las Aplicaciones y Sistemas Móviles 51
2.1.1 ¿Qué es una aplicación móvil? 51
2.1.2 Tipos de aplicaciones móviles (Nativas, Híbridas, Web) 52
2.1.3 Sistemas operativos móviles y ecosistemas actuales 53
2.1.4 Notificaciones emergentes y mensajería en tiempo real 54
2.1.5 ¿Qué es una notificación automatizada? 55
2.2 Arquitectura de Sistemas de Monitoreo 55
2.2.1 ¿Qué es monitoreo en sistemas de información? 55
2.2.2 Vigilancia Meteorológica y su importancia técnica 56
2.2.3 Tipos de monitoreo en la tecnología de información 56
2.2.4 Monitoreo meteorológico: Instrumentación y recolección de datos 57
2.2.5 El papel de las APIs meteorológicas y el consumo de servicios web 57
2.3 El Internet de las Cosas (IoT) aplicado a la agronomía 58
2.3.1 Sensores de campo y tecnologías de recolección de datos 58
2.3.2 Protocolos de comunicación de datos (LoRaWAN, MQTT, HTTP) 59
2.3.3 Seguridad y privacidad de los datos en redes IoT 60
2.3.4 Teorías de resiliencia agrícola y toma de decisiones basada en datos 60
2.4 Alertas y Riesgos Climáticos 61
2.4.1 ¿Qué es una alerta y su arquitectura lógica? 61
2.4.2 Tipos de alertas (Informativas, Preventivas, Críticas) 62
2.4.3 Riesgos climáticos: Definición y categorización 62
2.4.4 Riesgos en la producción agrícola 63
2.4.5 Alertas de riesgos climáticos aplicadas a la agronomía 63
2.4.6 Sistemas de Alerta Temprana (SAT): Estructura y componentes 63
2.4.7 Umbrales agrometeorológicos 64
2.5 Contexto Geográfico y Agrícola 67
2.5.1 Caracterización general de la República de Guatemala 67
2.5.2 El departamento como unidad administrativa en Guatemala 68
2.5.3 Agricultura y producción agrícola en el departamento de Jalapa 68

2.5.4 Retrospectiva de la Agrometeorología en Guatemala 69
2.5.5 Desafíos históricos de la agricultura en el Corredor Seco y Jalapa 70
CAPÍTULO III 71
HERRAMIENTAS Y LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN 71
3.1 Lenguajes de programación 71
3.1.1 Dart 71
3.1.2 JavaScript 72
3.1.3 SQL 72
3.2 Marcos de trabajo y herramientas de desarrollo 73
3.2.1 Flutter 73
3.2.2 Dart DevTools 73
3.2.3 Pub.dev 74
3.2.4 Material Design 74
3.3 Entornos de desarrollo (IDE) y editores 75
3.3.1 Android Studio 75
3.3.2 Visual Studio Code 75
3.3.3 Android SDK 76
3.4 Control de versiones 76
3.4.1 Git 76
3.4.2 GitHub 77
3.4.3 GitHub Actions 77
3.5 Sistemas operativos 78
3.5.1 Linux 78
3.5.2 Android 78
3.6 Servicios en la nube 79
3.6.1 Computación en la nube 79
3.6.2 Firebase 79
3.6.3 Google Cloud Platform 80
3.6.4 Firebase Cloud Messaging 80
3.7 Base de datos 81
3.7.1 Cloud Firestore 81

3.7.2 Firebase Realtime Database 81
3.7.3 NoSQL 82
3.8 Servicios web y mapas 82
3.8.1 API REST 82
3.8.2 JSON 83
3.8.3 Esri y flutter_map 83
3.8.4 HTTP 84
3.9 Diseño y modelado 84
3.9.1 UML 84
3.9.2 Figma 85
3.9.3 Material You 85
3.10 Pruebas y despliegue 86
3.10.1 Postman 86
3.10.2 Docker 86
CAPÍTULO IV 88
ANÁLISIS DEL SOFTWARE 88
4.1 Visión del producto 88
4.1.1 Descripción general del producto 88
4.1.2 Objetivos principales 89
4.1.3 Metas del negocio 89
4.1.4 Beneficios para los usuarios y la organización 89
4.2 Partes interesadas y roles 90
4.2.1 Identificación de las partes interesadas clave 90
4.2.2 Roles dentro del equipo Scrum 91
4.2.3 Responsabilidad de cada rol 92
4.2.4 Perfil del usuario 92
4.3 Historias de usuario 93
4.3.1 Estructura de las historias de usuario 93
4.3.2 Historias de usuario principales 93
4.3.3 Criterios de aceptación 96
4.3.4 Reglas del negocio asociadas 96

4.4 Épicas y características 99
4.4.1 Identificación de épicas 99
4.4.2 Desglose en características 100
4.4.3 Priorización inicial 101
4.5 Requerimientos no funcionales 102
4.5.1 Seguridad 102
4.5.2 Rendimiento 103
4.5.3 Usabilidad 104
4.5.4 Escalabilidad 105
4.5.5 Compatibilidad 106
4.5.6 Restricciones técnicas 107
4.6 Pila del producto 108
4.6.1 Estructura de la pila del producto 108
4.6.2 Priorización basada en valor 110
4.6.3 Dependencias entre elementos de la pila 111
4.6.4 Refinamiento de la pila 113
4.7 Análisis de procesos y comportamiento del sistema 113
4.7.1 Descripción de los procesos clave 113
4.7.2 Flujo lógico de actividades 115
4.7.3 Interacciones entre los usuarios y el sistema 117
4.8 Criterios de aceptación y definición de listo 120
4.8.1 Criterios de aceptación por historia de usuario 120
4.8.2 Condiciones para considerar un requerimiento listo 121
4.8.3 Validaciones y restricciones 123
4.9 Riesgos y consideraciones del análisis 124
4.9.1 Riesgos técnicos 125
4.9.2 Riesgos de requerimientos 126
4.9.3 Riesgos de comunicación con las partes interesadas 127
4.9.4 Estrategias de mitigación 128
4.10 Factibilidades del sistema 131
4.10.1 Factibilidad técnica 131

4.10.2 Factibilidad económica 132
4.10.3 Factibilidad operativa 134
CAPÍTULO V 137
DISEÑO DEL SISTEMA 137
5.1 Arquitectura del sistema 137
5.1.1 Vista general de la arquitectura 137
5.1.2 Componentes principales y sus interacciones 139
5.2 Diseño de arquitectura técnica 140
5.2.1 Diagrama de arquitectura 140
5.2.2 Patrones de diseño utilizados 141
5.2.3 Consideraciones de integración 142
5.3 Diseño de componentes y módulos 143
5.3.1 Identificación de componentes 143
5.3.2 Descripción de módulos 144
5.3.3 Diseño de interfaces de componentes 146
5.3.3.1 Interfaces internas 146
5.3.3.2 Interfaces externas 147
5.3.4 Diagrama de clases 149
5.4 Diseño de base de datos 151
5.4.1 Modelo de datos conceptual 151
5.4.2 Diagrama de la base de datos 152
5.4.3 Diccionario de datos 154
5.5 Diseño de la interfaz de usuario (UI) 159
5.5.1 Principios de diseño de UI/UX 159
5.5.2 Prototipos de interfaz 160
5.5.3 Diseño de navegación 163
5.5.4 Directrices de accesibilidad y usabilidad 163
5.6 Diseño de la seguridad 164
5.6.1 Autenticación y autorización 165
5.6.2 Gestión de sesiones 165
5.6.3 Cifrado de datos 165

5.7 Diagramas UML 166
5.7.1 Diagramas de casos de uso 166
5.7.2 Diagrama de actividades 168
5.7.3 Diagrama de secuencia 169
5.8 Revisión y mejora continua del diseño 169
5.8.1 Revisión de diseño en reuniones de sprint 170
5.8.2 Retroalimentación del diseño 170
5.8.3 Adaptación y mejora continua 170
5.9 Procesos de negocio 171
5.9.1 Proceso actual 171
5.9.2 Proceso sistematizado 172
CAPÍTULO VI 173
PRUEBAS DE IMPLEMENTACIÓN 173
6.1 Dominio 173
6.2 Plan de implementación en producción 177
6.2.1 Fases de implementación 177
6.2.2 Responsables 178
6.2.3 Lista de actividades por fase 179
6.3 Pruebas por módulo 181
6.3.1 Módulo de acceso y cuenta 181
6.3.1.1 Crear cuenta 181
6.3.1.2 Iniciar sesión 183
6.3.1.3 Responder la encuesta de opinión 185
6.3.2 Módulo de gestión de parcelas 187
6.3.2.1 Registrar parcela 187
6.3.2.2 Consultar, editar y borrar parcelas 189
6.3.3 Módulo de monitoreo meteorológico 191
6.3.3.1 Pronóstico de la parcela 191
6.3.3.2 Mapa del clima por capas 192
6.3.4 Módulo del motor de alertas 194
6.3.4.1 Generación y notificación de alertas 194

6.3.4.2 Centro de alertas y preferencias 195
6.3.5 Módulo de historial y reportes 197
6.3.5.1 Registro día por día 197
6.3.5.2 Avisos anteriores 198
6.4 Pruebas de obtención de informes 200
6.4.1 Informe en pantalla 200
6.4.2 Crear Excel 202
6.4.3 Crear CSV 204
6.4.4 Crear PDF 206
6.4.5 Imprimir 208
7. Conclusiones 210
Conclusiones del trabajo en general 210
Conclusiones del proyecto 210
8. Recomendaciones 212
Recomendaciones del trabajo en general 212
Recomendaciones del proyecto 212
Recomendación final 213
Referencias bibliográficas 214
Glosario 224
Anexos 228
Anexo 1. Formato del cuestionario 228
Anexo 2. Evidencias de los objetivos 232
Anexo 3. Evidencia de la hipótesis 238
Anexo 4. Manuales del sistema 240

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Operacionalización de la Variable Independiente 16

Tabla 2. Matriz de Operacionalización de la Variable Dependiente 17

Tabla 3. Rango de edad de los productores encuestados 27

Tabla 4. Distribución de los encuestados por municipio 28

Tabla 5. Nivel educativo alcanzado por los encuestados 29

Tabla 6. Tipo de producción agrícola predominante 30

Tabla 7. Régimen de tenencia de la tierra 31

Tabla 8. Tenencia de teléfono inteligente propio 32

Tabla 9. Calidad de la señal de internet móvil en la parcela 33

Tabla 10. Medio principal de consulta del pronóstico del tiempo 34

Tabla 11. Fenómeno climático que más ha dañado la producción 35

Tabla 12. Disposición a instalar y usar la aplicación móvil 36

Tabla 13. Disposición a tomar medidas preventivas ante una alerta de helada 37

Tabla 14. Percepción sobre el mapa digital para la planificación 38

Tabla 15. Disposición a recibir capacitación técnica 39

Tabla 16. Percepción sobre la reducción de pérdidas mediante alertas 40

Tabla 17. Disposición a ajustar actividades según el pronóstico 41

Tabla 18. Percepción sobre la reducción de costos de reinversión 42

Tabla 19. Importancia de la información meteorológica personalizada 43

Tabla 20. Calificación de la utilidad potencial de la aplicación 44

Tabla 21. Disposición a usar la aplicación móvil según el rango de edad 45

Tabla 22. Percepción de la reducción de pérdidas según el municipio 46

Tabla 23. Disposición a recibir capacitación según el nivel educativo 47

Tabla 24. Percepción de la reducción de costos según el tipo de producción 48

Tabla 25. Disposición a ajustar las actividades según el régimen de tenencia 49

Tabla 26. Criterios agrometeorológicos de referencia 66

Tabla 27. Partes interesadas del sistema 91

Tabla 28. Roles del equipo Scrum 92

Tabla 29. Historias de usuario del sistema 94

Tabla 30. Reglas del negocio del sistema 97

Tabla 31. Catálogo inicial de umbrales del sistema 97

Tabla 32. Épicas del producto 100

Tabla 33. Características por épica 101

Tabla 34. Requerimientos no funcionales de seguridad 102

Tabla 35. Requerimientos no funcionales de rendimiento 103

Tabla 36. Requerimientos no funcionales de usabilidad 104

Tabla 37. Requerimientos no funcionales de escalabilidad 105

Tabla 38. Requerimientos no funcionales de compatibilidad 106

Tabla 39. Restricciones técnicas del proyecto 107

Tabla 40. Elementos de la pila del producto 109

Tabla 41. Valor de los elementos de la pila del producto 110

Tabla 42. Dependencias entre elementos de la pila del producto 112

Tabla 43. Procesos clave del sistema 114

Tabla 44. Comparación entre el ciclo iniciado por el usuario y el ciclo automático del sistema 115

Tabla 45. Momentos de interacción entre el productor y el sistema 118
Tabla 46. Interacciones del sistema con los servicios externos 119
Tabla 47. Definición de listo aplicable a todos los elementos de la pila 121
Tabla 48. Validaciones del sistema 123
Tabla 49. Restricciones de operación del sistema 124
Tabla 50. Evaluación de los riesgos técnicos 125
Tabla 51. Evaluación de los riesgos de requerimientos 126
Tabla 52. Evaluación de los riesgos de comunicación 127
Tabla 53. Estrategias de mitigación de los riesgos identificados 128
Tabla 54. Especificaciones técnicas para el desarrollo y la implementación 132
Tabla 55. Costos del proyecto 133
Tabla 56. Habilidades requeridas del usuario y su presencia en la muestra 135
Tabla 57. Patrones de diseño utilizados en el sistema 142
Tabla 58. Condiciones de integración con los servicios externos 143
Tabla 59. Interfaces internas entre componentes 146
Tabla 60. Interfaces externas del sistema 147
Tabla 61. Diccionario de datos de la colección usuarios 154
Tabla 62. Diccionario de datos de la subcolección preferencias 155
Tabla 63. Diccionario de datos de la colección parcelas 155
Tabla 64. Diccionario de datos de la subcolección condiciones 156
Tabla 65. Diccionario de datos de la subcolección pronósticos 156
Tabla 66. Diccionario de datos de la colección alertas 157
Tabla 67. Diccionario de datos de la colección umbrales 158

Tabla 68. Diccionario de datos de la colección encuestas 158
Tabla 69. Paleta de colores de la interfaz 159
Tabla 70. Niveles del semáforo de riesgo 160
Tabla 71. Directrices de accesibilidad y usabilidad 163
Tabla 72. Permisos de lectura y escritura por colección 165
Tabla 73. Protección de los datos según su tipo 166
Tabla 74. Revisión del diseño en los eventos de cada sprint 170
Tabla 75. Elementos del diseño que se revisan en cada sprint 170
Tabla 76. Comparación entre el proceso actual y el proceso sistematizado 172
Tabla 77. Datos de acceso al sistema 173
Tabla 78. Responsables de la implementación 179
Tabla 79. Actividades por fase de la implementación 180
Tabla 80. Caso de prueba CP-01, crear cuenta 181
Tabla 81. Caso de prueba CP-02, iniciar sesión 183
Tabla 82. Caso de prueba CP-03, responder la encuesta de opinión 185
Tabla 83. Caso de prueba CP-04, registrar parcela 187
Tabla 84. Caso de prueba CP-05, consultar, editar y borrar parcelas 189
Tabla 85. Caso de prueba CP-06, pronóstico de la parcela 191
Tabla 86. Caso de prueba CP-07, mapa del clima por capas 192
Tabla 87. Caso de prueba CP-08, generación y notificación de alertas 194
Tabla 88. Caso de prueba CP-09, centro de alertas y preferencias 195
Tabla 89. Caso de prueba CP-10, registro día por día 197
Tabla 90. Caso de prueba CP-11, avisos anteriores 198

Tabla 91. Caso de prueba CP-12, informe en pantalla 200
Tabla 92. Caso de prueba CP-13, crear Excel 202
Tabla 93. Caso de prueba CP-14, crear CSV 204
Tabla 94. Caso de prueba CP-15, crear PDF 206
Tabla 95. Caso de prueba CP-16, imprimir 208
Tabla 96. Definiciones de los términos utilizados en el estudio 224
Tabla 97. Participantes de la validación 232
Tabla 98. Resultados de la encuesta de opinión 233
Tabla 99. Evidencias por objetivo 237
Tabla 100. Evidencias de la hipótesis y de las preguntas de investigación 239
Tabla 101. Manuales del sistema 240

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, Campus Jutiapa 14

Figura 2. Cronograma de actividades del proyecto de graduación 26

Figura 3. Rango de edad de los productores encuestados 27

Figura 4. Distribución de los encuestados por municipio 28

Figura 5. Nivel educativo alcanzado por los encuestados 29

Figura 6. Tipo de producción agrícola predominante 30

Figura 7. Régimen de tenencia de la tierra 31

Figura 8. Tenencia de teléfono inteligente propio 32

Figura 9. Calidad de la señal de internet móvil en la parcela 33

Figura 10. Medio principal de consulta del pronóstico del tiempo 34

Figura 11. Fenómeno climático que más ha dañado la producción 35

Figura 12. Disposición a instalar y usar la aplicación móvil 36

Figura 13. Disposición a tomar medidas preventivas ante una alerta de helada 37

Figura 14. Percepción sobre el mapa digital para la planificación 38

Figura 15. Disposición a recibir capacitación técnica 39

Figura 16. Percepción sobre la reducción de pérdidas mediante alertas 40

Figura 17. Disposición a ajustar actividades según el pronóstico 41

Figura 18. Percepción sobre la reducción de costos de reinversión 42

Figura 19. Importancia de la información meteorológica personalizada 43

Figura 20. Calificación de la utilidad potencial de la aplicación 44

Figura 21. Disposición a usar la aplicación móvil según el rango de edad 45

Figura 22. Percepción de la reducción de pérdidas según el municipio 46
Figura 23. Disposición a recibir capacitación según el nivel educativo 47
Figura 24. Percepción de la reducción de costos según el tipo de producción 48
Figura 25. Disposición a ajustar las actividades según el régimen de tenencia 49
Figura 26. Diagrama de despliegue del sistema 138
Figura 27. Diagrama de componentes del sistema 139
Figura 28. Arquitectura general del sistema 141
Figura 29. Módulos del sistema y sus componentes 144
Figura 30. Diagrama de interfaces internas 147
Figura 31. Diagrama de interfaces externas 149
Figura 32. Diagrama de clases del dominio 150
Figura 33. Diagrama entidad-relación del modelo conceptual 152
Figura 34. Estructura de la base de datos 153
Figura 35. Prototipos de acceso e incorporación 161
Figura 36. Prototipos del registro y gestión de parcelas 161
Figura 37. Prototipos de monitoreo meteorológico y alertas 162
Figura 38. Prototipos de reportes, perfil y estados del sistema 162
Figura 39. Diagrama de navegación de la aplicación 163
Figura 40. Controles de seguridad entre el dispositivo y la nube 164
Figura 41. Diagrama de casos de uso del productor agrícola 167
Figura 42. Diagrama de casos de uso del ciclo automático 167
Figura 43. Diagrama de actividades del ciclo automático de alertas 168
Figura 44. Diagrama de secuencia de la consulta de condiciones 169

Figura 45. Proceso actual de consulta del clima 171
Figura 46. Proceso sistematizado con AgroClima Jalapa 172
Figura 47. Ícono de AgroClima Jalapa en el teléfono de prueba 174
Figura 48. Panel principal con la sesión iniciada 175
Figura 49. Proyecto de AgroClima Jalapa en la consola de Firebase 176
Figura 50. Documento de la cuenta de prueba en Cloud Firestore 176
Figura 51. Ejecuciones del ciclo automático en GitHub Actions 177
Figura 52. Fases del plan de implementación en producción 178
Figura 53. Pantalla para crear una cuenta 183
Figura 54. Pantalla de inicio de sesión 184
Figura 55. Encuesta de opinión dentro de la aplicación 186
Figura 56. Respuesta guardada en la colección encuestas de Cloud Firestore 187
Figura 57. Paso del mapa en el registro de una parcela 189
Figura 58. Lista y detalle de las parcelas 190
Figura 59. Pronóstico de cinco días y detalle de un día 192
Figura 60. Mapa del clima sin capa y con la capa de lluvia 193
Figura 61. Notificaciones de prueba recibidas en el teléfono 195
Figura 62. Centro de alertas, detalle de una alerta y preferencias de aviso 196
Figura 63. Registro día por día de una parcela 198
Figura 64. Historial de avisos anteriores 199
Figura 65. Resumen de 7 días en pantalla 201
Figura 66. Hoja «Guardar o enviar» con los formatos del informe 203
Figura 67. Archivo de Excel generado por la aplicación 204

Figura 68. Contenido del archivo CSV generado por la aplicación 205

Figura 69. Primera página del informe en PDF 207

Figura 70. Ventana de impresión con la vista previa del informe 209

Figura 71. Instrumento de recolección de datos, parte 1 de 3 229

Figura 72. Instrumento de recolección de datos, parte 2 de 3 230

Figura 73. Instrumento de recolección de datos, parte 3 de 3 231

Figura 74. Respuestas a la encuesta de opinión 233

Figura 75. Productores que usaron la aplicación 235

Figura 76. Estudiantes de agronomía y personas cercanas al trabajo agrícola que usaron la aplicación 236

Figura 77. Avisos recibidos para una parcela de café en Jalapa 237

INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática se ha convertido en uno de los principales riesgos para la agricultura en el mundo. Las temperaturas más altas, las sequías más largas y las lluvias intensas fuera de temporada afectan con mayor fuerza a los pequeños productores, que dependen de la lluvia y tienen pocos recursos para recuperarse de una cosecha perdida. Frente a esto, los sistemas de alerta temprana y las aplicaciones móviles se han extendido como una forma práctica de llevar información meteorológica oportuna hasta el campo.

En la República de Guatemala la actividad agrícola es una de las actividades económicas más importantes del área rural, porque provee el sustento alimentario básico de miles de familias y buena parte del empleo local. En los últimos años este sector se ha vuelto más vulnerable por el aumento de la variabilidad climática y de los fenómenos meteorológicos extremos, mientras que la información que llega al productor suele ser un pronóstico de alcance nacional que no refleja las condiciones de cada región.

La situación es especialmente crítica en el departamento de Jalapa, ubicado dentro del Corredor Seco, donde las sequías prolongadas, las canículas irregulares, las lluvias intensas y los descensos bruscos de temperatura provocan pérdidas en la producción de granos básicos, café y hortalizas. La encuesta aplicada a 122 productores de los siete municipios confirmó la brecha: cerca de la mitad consulta el clima por redes sociales, casi una quinta parte lo hace solo por observación propia y la gran mayoría considera muy importante contar con información meteorológica personalizada.

El problema que se aborda es la falta de información meteorológica localizada y de avisos oportunos que permitan a los productores de Jalapa anticiparse a los riesgos climáticos. La pregunta central del trabajo es: ¿cómo implementar una aplicación móvil de monitoreo meteorológico y alertas de riesgos climáticos para la producción agrícola en Jalapa? La hipótesis plantea que una aplicación de este tipo optimiza la toma de decisiones preventivas y reduce los impactos negativos en la producción agrícola del departamento. El objetivo general es implementar esa aplicación mediante la integración de fuentes de datos en tiempo real.

Para responder a esa pregunta se propone AgroClima Jalapa, una aplicación móvil para Android desarrollada en Flutter que permite registrar parcelas georreferenciadas, consultar las condiciones actuales y el pronóstico de cada una y recibir alertas automáticas cuando las

variables climáticas superan los umbrales definidos para el cultivo y su etapa. Se apoya en Firebase en su plan gratuito, en OpenWeather como fuente de datos, en los mapas de Esri y en una tarea programada de GitHub Actions que ejecuta el ciclo de alertas, por lo que su costo de operación es cero.

El trabajo se organiza en seis capítulos. El capítulo I presenta el anteproyecto de investigación: antecedentes, justificación, planteamiento del problema, objetivos, hipótesis, variables, metodología y resultados de la encuesta aplicada a los productores. El capítulo II desarrolla el marco teórico sobre aplicaciones móviles, sistemas de monitoreo, alertas y riesgos climáticos, y el contexto geográfico y agrícola del departamento. El capítulo III describe los lenguajes, herramientas, servicios y plataformas utilizados en la construcción del sistema.

El capítulo IV expone el análisis del software con Scrum: visión del producto, historias de usuario, requerimientos, pila del producto, procesos, riesgos y factibilidades. El capítulo V presenta el diseño del sistema: arquitectura, componentes, base de datos, interfaz, seguridad, diagramas del Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés) y procesos de negocio. El capítulo VI documenta las pruebas de implementación: el dominio, el plan de implementación en producción, las pruebas de cada módulo y las de los informes. Al final están las conclusiones, las recomendaciones, el glosario y los anexos.

CAPÍTULO I
ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El presente capítulo contiene la base metodológica y el planteamiento formal de la investigación, cuyo propósito es delimitar las fronteras científicas y técnicas del proyecto. Mediante una revisión estructurada, se exponen los antecedentes que contextualizan la problemática agrometeorológica en la región, la justificación que fundamenta la viabilidad del desarrollo tecnológico y la definición precisa del problema central.

Asimismo, se establecen los objetivos, alcances, limitaciones e hipótesis que guiarán de manera sistemática el diseño, la implementación y la posterior evaluación de la aplicación de monitoreo, para asegurar la coherencia técnica en la resolución de los desafíos climáticos que afectan al sector agrícola en el departamento de Jalapa.

1.1 Antecedentes

Antecedente I

En la tesis titulada "Sistema de monitoreo automatizado con tecnologías IOT en el área de la producción en las fincas cafeteras" de autor Edilson Herney Mont publicada en el año 2025, muestra los objetivos de identificar variables críticas y rangos óptimos, implementar una red de sensores IoT (Internet de las Cosas) y diseñar una interfaz móvil intuitiva.

Se implementaron sensores de campo conectados a una red IoT para recolectar datos en tiempo real y desarrollaron una aplicación móvil para la gestión de alertas. Los resultados fueron un sistema de respuesta inmediata ante condiciones críticas que permitió a los administradores identificar tendencias climáticas mediante gráficas interactivas.

Antecedente II

La tesis de grado de Luis Antonio Hilario Contreras, presentada en el año 2025 y titulada "Desarrollo de un Software Móvil de Pronóstico del Tiempo Basado en Datos de Cuatro Estaciones Meteorológicas en el Distrito de Olmos", se muestran los objetivos de permitir a los agricultores acceder a datos climáticos en tiempo real y mejorar la planificación agrícola mediante pronósticos precisos (Hilario Contreras, 2025).

Se desarrolló una aplicación móvil que integra información técnica proveniente de cuatro estaciones meteorológicas locales, lo que facilitó la visualización de parámetros críticos. Los resultados fueron la creación de una herramienta funcional que optimiza la productividad y el riego por goteo al proporcionar datos localizados que las aplicaciones globales no cubren con exactitud.

Antecedente III

La investigación de Martínez, González, Pérez y Rodríguez, (Universidad de las Ciencias Informáticas) publicada en el año 2023, titulada "Aplicación móvil para el monitoreo de variables ambientales en casas de cultivo", muestra los objetivos de diseñar una arquitectura de software con geoposicionamiento, desarrollar módulos de comunicación con la plataforma ThingsBoard y evaluar el rendimiento en entornos de producción.

Para lograr los objetivos hicieron la integración de equipo físico de medición con la plataforma mencionada y el desarrollo de una aplicación Android que funciona como tablero de control. Los resultados fueron la reducción de la incertidumbre del agricultor y la optimización del crecimiento de los cultivos al mantener parámetros ambientales bajo control estricto.

Antecedente IV

El estudio realizado por Luis Sarango Parrales y Maria Camila Navarro Rey, publicado en el año 2023, titulado "App móvil para el monitoreo de cultivos por medio de una red de sensores ambientales de consumo energético eficiente", muestra los objetivos de optimizar el uso de redes de sensores mediante una interfaz móvil y mejorar la toma de decisiones en el monitoreo de cultivos.

Implementaron una aplicación móvil sincronizada con nodos de sensores ambientales y el desarrollo de un sistema de generación de reportes para análisis histórico. Los resultados fueron una alta aceptación por parte de los usuarios (superior al 80% en usabilidad) y una rápida adaptación de los agricultores al manejo de la tecnología para controlar sus parámetros de producción.

Antecedente V

El estudio titulado "Weather station with a comprehensive program that promotes preventive culture against hail among local farmers (APUY)", de Camila Casanova-Vise, Consuelo Cano y Marco Benites, publicado en el año 2025, muestra los objetivos de promover una cultura de prevención ante el granizo entre los agricultores de Molleray, en Cusco, Perú, reducir las pérdidas agrícolas por granizadas y mejorar el conocimiento de las medidas preventivas.

Para lograr los objetivos construyeron una estación meteorológica con un sensor de temperatura, humedad y presión conectado a un microcontrolador ESP32 con panel solar, que envía los datos a una plataforma de Internet de las Cosas y emite alertas con un semáforo de tres colores y mensajes de texto en quechua y en español. Los resultados preliminares, obtenidos en pruebas de calibración y entrevistas con agricultores, mostraron que las alertas visuales y por mensaje funcionaron y tuvieron buena aceptación (Casanova-Vise, Cano y Benites, 2025).

1.2 Justificación de la investigación

La variabilidad climática en el departamento de Jalapa provoca pérdidas económicas significativas y pone en riesgo la seguridad alimentaria local al afectar la producción de cultivos. Los agricultores carecen de mecanismos técnicos de vigilancia y canales de comunicación directos para recibir notificaciones localizadas sobre riesgos inminentes. Esta carencia impide una respuesta temprana ante fenómenos meteorológicos, situación que puede mitigarse mediante el uso de tecnología móvil accesible.

Por consiguiente, esta investigación beneficia directamente a los pequeños y medianos productores agrícolas de la región de Jalapa, así como a sus familias, al proporcionarles una herramienta que ayuda a proteger su patrimonio. Asimismo, beneficia a la comunidad técnica y académica, al sentar un precedente sobre el uso de tecnologías de monitoreo aplicadas a la solución de problemas rurales específicos.

Estudios recientes demuestran que la vigilancia constante de microclimas mediante software reduce la incertidumbre del agricultor y optimiza el crecimiento de los cultivos al mantener parámetros bajo control. La implementación de un sistema de alerta automatizado puede reducir el tiempo de recepción de información crítica de horas a segundos. Esto permite

que los usuarios tomen medidas preventivas para proteger su producción antes de que ocurran eventos climáticos intensos.

El aporte técnico de este proyecto consiste en el diseño de una arquitectura de software que integra servicios de geoposicionamiento y procesamiento de datos en tiempo real. Al desarrollar módulos de comunicación entre la aplicación y fuentes de datos meteorológicos, se establece un tablero de control eficiente para el sector agrícola. Este enfoque permite la creación de una herramienta funcional.

Esta investigación es un aporte académico, porque establece un marco metodológico y técnico para el desarrollo de soluciones de agrometeorología digital adaptadas a contextos regionales específicos de Guatemala.

El proyecto trasciende la implementación de una herramienta al sistematizar parámetros de ingeniería para la gestión de suscripciones personalizadas basadas en geoposicionamiento y tipos de cultivo; esto proporciona a la comunidad científica y a futuros investigadores una base sólida y documentada sobre la arquitectura de sistemas de alerta temprana, lo que facilita la escalabilidad de soluciones tecnológicas que aborden la comunicación de riesgos climáticos en la agricultura nacional.

Socialmente se aporta directamente a la comunidad de agricultores del departamento de Jalapa, específicamente para los productores de pequeña y mediana escala que carecen de acceso a servicios privados de meteorología.

Este impacto se logra mediante la implementación de una herramienta tecnológica gratuita que, a través de notificaciones automatizadas, facilita el acceso a datos técnicos sobre riesgos climáticos, lo que permite que las familias rurales tomen decisiones preventivas para proteger sus cultivos de granos básicos y hortalizas, lo que ayuda a proteger el ingreso de las familias y la seguridad alimentaria de la región.

1.3 Planteamiento del problema

El departamento de Jalapa se caracteriza por una topografía diversa que genera múltiples microclimas que influyen en la producción de hortalizas y granos básicos. El problema central radica en que la variabilidad climática actual ha superado la capacidad de predicción tradicional

de los agricultores locales. Esta situación expone a los productores a riesgos constantes que comprometen la rentabilidad de sus cosechas.

Los elementos del problema incluyen la falta de infraestructura tecnológica propia en las parcelas y la dependencia de datos meteorológicos de baja resolución espacial. Se identifican situaciones de pérdida total de cultivos debido a heladas o inundaciones que no se notificaron con antelación suficiente. Conceptualmente, el problema se define como una asimetría de información técnica entre los centros de datos y el campo.

Jalapa ha enfrentado históricamente eventos climáticos extremos que han desestabilizado la seguridad alimentaria de la región. La falta de registros históricos digitalizados y accesibles para el agricultor ha impedido la creación de modelos ante el cambio climático. Estas experiencias previas guardan una relación directa con la actual vulnerabilidad del sector agrícola departamental.

Actualmente se cuenta con un acceso limitado a herramientas digitales que permitan una vigilancia técnica en tiempo real para el pequeño y mediano productor. Los agricultores dependen de medios de comunicación masivos que ofrecen pronósticos generalizados para todo el país, sin considerar las particularidades de Jalapa. Esto genera un vacío informativo que imposibilita una gestión de riesgos basada en datos reales.

1.3.1 Descripción del problema

En el departamento de Jalapa la agricultura se desarrolla en condiciones de terreno variadas, desde valles hasta zonas montañosas. Esta realidad física complica la precisión de los servicios meteorológicos estándar, lo que crea zonas de sombra informativa en zonas de producción importantes. A esto se suma la falta de software especializado que interprete esos datos para el productor.

Se identifica la inexistencia de una plataforma móvil que centralice e interprete fuentes de datos meteorológicos para el usuario final en el departamento. Actualmente, la información técnica existe en servidores remotos, pero no se procesa para que la entiendan personas sin formación en meteorología. Esta desconexión tecnológica es el origen de la incapacidad de respuesta ante eventos climáticos severos.

Otra causa relevante es la falta de canales de notificación automatizados que funcionen de manera proactiva, sin requerir que el agricultor busque la información manualmente. Los sistemas actuales son pasivos y no consideran los umbrales críticos de cada cultivo específico, como el punto de marchitez o el exceso de humedad. Esto deja al productor en una posición de espera ante la incertidumbre del clima.

El efecto inmediato de estas causas es la toma de decisiones basada en suposiciones, lo que conlleva a la aplicación ineficiente de insumos o riegos. Cuando un riesgo climático se materializa sin aviso, el impacto es devastador para la salud de las plantas y la estructura del suelo. Esto resulta en una disminución drástica de la calidad y cantidad de los productos cosechados.

Como efecto secundario, se observa un aumento en el costo de producción debido a las constantes reinversiones necesarias para recuperar cultivos dañados. Esta ineficiencia operativa debilita la economía rural y perpetúa ciclos de pobreza vinculados a la dependencia climática. La ausencia de vigilancia técnica se traduce finalmente en una pérdida de competitividad del sector agrícola frente a otras regiones.

1.3.2 Formulación del problema

¿Cómo implementar una aplicación móvil de monitoreo meteorológico y alertas de riesgos climáticos para la producción agrícola en Jalapa?

1.4 Preguntas de investigación

a) ¿De qué manera la integración de fuentes de datos meteorológicos en tiempo real dentro de una aplicación móvil permite optimizar la toma de decisiones preventivas para los productores agrícolas del departamento de Jalapa?
b) ¿Cuáles son los requerimientos técnicos y funcionales necesarios para el diseño de una arquitectura de software que garantice la entrega inmediata de notificaciones automatizadas de riesgos climáticos a los usuarios en regiones con microclimas diversos?
c) ¿En qué medida el uso de una interfaz móvil intuitiva y localizada influye en la capacidad de respuesta de los agricultores de Jalapa ante eventos climáticos extremos que tradicionalmente causan pérdidas significativas en la producción local?

1.5 Objetivos de la investigación

Los objetivos definen el resultado que se espera alcanzar y orientan cada etapa del proyecto. El objetivo general expresa el propósito central de la investigación, mientras que los específicos lo descomponen en metas concretas y verificables que abarcan el diseño, la implementación y la validación de la aplicación.

1.5.1 Objetivo general

Implementar una aplicación móvil de monitoreo meteorológico y alerta de riesgos climáticos mediante la integración de fuentes de datos en tiempo real, con el fin de optimizar la toma de decisiones y fortalecer la resiliencia en la producción agrícola del departamento de Jalapa.

1.5.2 Objetivos específicos

a) Diseñar la arquitectura de software de la aplicación móvil que asegure la interoperabilidad con APIs meteorológicas externas para la recolección de datos climáticos precisos.
b) Implementar un módulo de notificaciones automáticas basado en umbrales de riesgo predefinidos (precipitación, heladas, sequía) específicos para los cultivos predominantes en Jalapa.
c) Validar la funcionalidad y usabilidad de la herramienta con agricultores locales y medir la efectividad de las alertas en la prevención de pérdidas agrícolas.

1.5.3 Actividades de la Investigación

a) **Revisión y análisis bibliográfico:** Se analizarán fuentes académicas y técnicas sobre agrometeorología, arquitectura de aplicaciones móviles y gestión de riesgos climáticos para fundamentar el marco teórico y definir las variables técnicas del estudio.
b) **Levantamiento de requerimientos y definición de umbrales:** Se identificarán las necesidades críticas de los agricultores de Jalapa y se definirán los parámetros técnicos (niveles de lluvia, temperatura y humedad) que dispararán las alertas automatizadas en la aplicación.

c) **Diseño de la arquitectura de software y selección de APIs:** Se diseñará el esquema de módulos del sistema para asegurar la interoperabilidad con servicios meteorológicos externos (APIs) para la ingesta de datos en tiempo real.
d) **Desarrollo del prototipo funcional:** Se programará la aplicación móvil con la integración del componente de procesamiento de datos del lado del servidor con una interfaz de usuario intuitiva que permita la suscripción personalizada según la ubicación geográfica.
e) **Validación y pruebas de precisión de alertas:** Se realizarán pruebas controladas para verificar que las notificaciones automatizadas se entreguen inmediatamente ante eventos climáticos detectados, y se evaluará la efectividad del sistema en la prevención de pérdidas agrícolas.
f) **Procesamiento de resultados y redacción del informe final:** Se documentarán los hallazgos obtenidos durante las pruebas y se analizará el impacto de la herramienta en la toma de decisiones de los productores para concluir formalmente el proyecto de graduación.

1.6 Alcances y límites

Este apartado delimita lo que el proyecto abarca y lo que queda fuera de él. Los alcances describen las funcionalidades y la cobertura que tendrá la aplicación, y los límites señalan las condiciones técnicas, geográficas y de recursos que acotan su desarrollo y sus resultados.

1.6.1 Alcances

El alcance de este proyecto se centra en entregar una solución tecnológica que realmente acompañe al productor de Jalapa en su labor cotidiana. No se trata solo de un software, sino de un puente entre la ciencia climática y el trabajo de campo. La meta es que cualquier agricultor, sin importar su nivel técnico, pueda anticiparse al clima.

Para lograr esto, la aplicación se divide en cuatro grandes áreas funcionales que trabajan de la mano para proteger las cosechas. Primero, la herramienta permite que el usuario "ubique" su parcela en el mapa digital del departamento. Esto importa porque el clima en las montañas de Jalapa no es igual al de sus valles.

Al saber exactamente dónde está el cultivo, el sistema puede vigilar las condiciones de ese lugar específico las 24 horas del día. Esta vigilancia se traduce en una pantalla sencilla donde el productor ve la temperatura, la lluvia y el viento. La idea es que la información técnica se convierta en consejos útiles para el riego o la siembra.

La aplicación debe tener la capacidad de avisar por cuenta propia cuando algo anda mal con el tiempo. El usuario no tiene que revisar el teléfono a cada momento para saber si va a llover fuerte. El sistema analiza los datos y envía una alerta clara si detecta que se acerca una helada o una tormenta. Para garantizar el funcionamiento del sistema en la detección y comunicación de eventos climáticos, la aplicación se integrará por los siguientes módulos:

a) **Módulo de Adquisición de Datos:** Responsable de la conexión y extracción de información en tiempo real desde APIs meteorológicas externas para las coordenadas específicas de Jalapa.
b) **Módulo de Monitoreo y Procesamiento:** Actúa como el motor lógico que analiza constantemente las variables recibidas, comparándolas con parámetros de riesgo predefinidos (umbrales de lluvia, heladas o vientos) sin necesidad de acción manual.
c) **Módulo de Notificación Automatizada:** Encargado de gestionar y disparar el envío de alertas directas al dispositivo del usuario cuando el módulo de procesamiento detecta una anomalía climática.
d) **Módulo de Visualización:** Interfaz gráfica donde el agricultor puede consultar de forma clara el estado actual del tiempo, el pronóstico y el historial de alertas emitidas por el sistema.

1.6.2 Límites de la Investigación

Ámbito Geográfico

El estudio se limita al departamento de Jalapa. Esto se debe a que la configuración de alertas y los datos se han optimizado para las coordenadas de esta región. Si la aplicación se utiliza en otros departamentos, la vigilancia climática perdería precisión.

Ámbito Institucional

La investigación se apoya en los estándares técnicos de fuentes climáticas reconocidas para asegurar que la información sea verídica. No se contempla el soporte técnico de empresas

de telefonía ni de instituciones de gobierno para la distribución de la aplicación. Es un esfuerzo académico independiente que busca proponer una solución tecnológica.

Ámbito Personal

El proyecto se dirige a productores agrícolas de Jalapa que cuenten con un teléfono inteligente y acceso básico a internet. No se incluyen en este grupo a personas que no tengan relación con el agro o que no usen dispositivos móviles. Se prioriza a quienes necesitan tomar decisiones rápidas para salvar sus siembras ante cambios bruscos del clima.

Ámbito Temporal:

Todo el proceso de creación, desde la idea inicial hasta que la aplicación esté lista para probarse, ocurrirá en el año 2026. El cronograma se diseñó para cubrir los meses principales de la temporada agrícola de este año en Guatemala. Cualquier mejora o cambio que se necesite después de graduación no forma parte de este estudio inicial.

Ámbito Temático

El tema central es exclusivamente la vigilancia del clima y el envío de alertas automáticas para la agricultura. No se abordarán temas como la venta de productos agrícolas, consejos de fertilización química o diagnósticos de plagas. La investigación se queda estrictamente en el área de la agrometeorología digital y la comunicación móvil de riesgos.

1.6.3 Aspectos demográficos

Los aspectos demográficos del departamento de Jalapa, ámbito geográfico en el que se desarrolla la presente investigación, permiten dimensionar la población, la extensión y la organización administrativa del territorio donde viven y trabajan los productores que conforman la población de estudio. Estos datos se presentan a continuación:

a) **Coordenadas:** Latitud 14° 37′ 58″ Norte y Longitud 89° 59′ 20″ Oeste (cabecera departamental).
b) **Colindancias:** al norte con los departamentos de El Progreso y Zacapa; al este con el departamento de Chiquimula; al sur con los departamentos de Jutiapa y Santa Rosa; y al oeste con el departamento de Guatemala.
c) **Extensión territorial:** tiene una extensión territorial de 2,063 kilómetros cuadrados.

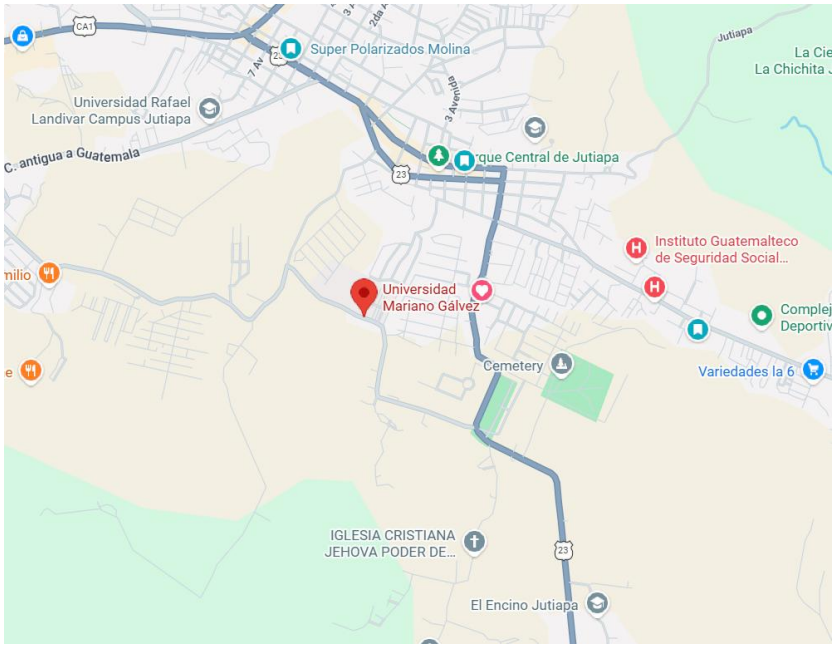
d) **Distancia:** la cabecera departamental se encuentra localizada a una distancia de 174 kilómetros de la Ciudad de Guatemala, en la región suroriental del país.
e) **Población total del departamento:** 342,923 habitantes, según el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda (Instituto Nacional de Estadística, 2018).
f) **División administrativa:** el departamento está conformado por siete municipios: Jalapa, San Pedro Pinula, San Luis Jilotepeque, San Manuel Chaparrón, San Carlos Alzatate, Monjas y Mataquescuintla.

1.6.4 Datos de la institución

La institución de educación superior donde se desarrolla el presente proyecto es la Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, por medio de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de su Campus Jutiapa, en la que se enmarca el curso de Proyecto de Graduación. Sus datos generales se describen a continuación:

a) **Nombre:** Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, Campus Jutiapa.
b) **Dirección:** Ruta Nacional 23 (RN-23), colonia Santa Bárbara, ciudad de Jutiapa, departamento de Jutiapa, Guatemala (Código Plus 74J3+X6J).
c) **Ubicación Google Maps:** permite ubicar el Campus Jutiapa de la Universidad Mariano Gálvez en un mapa satelital, en las coordenadas 14.282665, -89.897006.

Figura 1. *Ubicación geográfica de la Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, Campus Jutiapa.*



Fuente: Google Maps (2026).

1.7 Hipótesis

La implementación de una aplicación móvil de monitoreo meteorológico y alerta de riesgos climáticos optimiza la toma de decisiones preventivas y reduce los impactos negativos en la producción agrícola de los productores del departamento de Jalapa.

1.8 Definición conceptual de variables

La definición conceptual establece el significado teórico de cada variable de la investigación antes de medirla. La variable independiente corresponde a la aplicación móvil propuesta y la dependiente al efecto esperado sobre la toma de decisiones y la producción agrícola.

1.8.1 Independientes

a) **Aplicación móvil de monitoreo meteorológico y alertas automatizadas:** Se define conceptualmente como un sistema de información informático interactivo diseñado con arquitectura de software híbrida, optimizado para ejecutarse de forma portable en dispositivos inteligentes con pantalla táctil y operar eficientemente bajo las restricciones de conectividad digital de las redes celulares en el área rural.

Este artefacto tecnológico se compone de un componente del lado del servidor encargado de la ingesta y procesamiento de datos distribuidos mediante servicios web (APIs) y de una interfaz gráfica que traduce variables climáticas complejas en un mapa digital localizado por parcela, con el envío automático y proactivo de notificaciones (alertas de heladas, sequías o precipitaciones extremas) con 24 horas de anticipación sin requerir intervención humana directa para su difusión.

1.8.2 Dependientes

b) **Optimización de la toma de decisiones preventivas y reducción de impactos negativos en la producción agrícola:** Se define conceptualmente como la capacidad cognitiva y operativa del productor agrícola para asimilar información agrometeorológica oportuna y utilizarla de manera estratégica en la planificación, modificación o ejecución de sus labores culturales cotidianas tal como la aplicación de riegos de defensa, colocación de coberturas térmicas o ajuste de los calendarios de siembra y fertilización.

Esta variable representa la mitigación del riesgo en los medios de vida rurales, evaluada a través de la reducción de la pérdida física de biomasa vegetal en cultivos de granos básicos u hortalizas, la contención de los daños económicos por desastres climáticos súbitos y la minimización de los costos financieros por reinversión, lo que fortalece la estabilidad económica del hogar familiar.

1.9 Definición Operacional de Variables

La operacionalización permite desglosar las variables abstractas de la hipótesis en dimensiones técnicas e indicadores empíricos que pueden ser medidos y verificados de forma matemática en el campo. Para garantizar la consistencia analítica del anteproyecto, cada dimensión e indicador se vinculó de manera directa con los reactivos específicos del instrumento de recolección de datos que se aplicará a los agricultores del departamento de Jalapa.

1.9.1 Independientes

Tabla 1. *Matriz de Operacionalización de la Variable Independiente.*

Variable Independiente	Dimensiones Técnicas	Indicadores de Medición	Reactivo / Pregunta del Instrumento	Fuente de Datos
Aplicación móvil de monitoreo meteorológico y alertas automatizadas	Infraestructura y Acceso Tecnológico	a) Disponibilidad y tenencia de un teléfono inteligente propio. b) Nivel de calidad de la señal de internet móvil en la parcela de cultivo.	a) Pregunta No. 6 b) Pregunta No. 7	Cuestionario de Campo (Sección II)
	Usabilidad e interacción con la interfaz	a) Intención de instalación y adopción de la aplicación gratuita. b) Viabilidad en el manejo de mapas geoespaciales por parcela.	a) Pregunta No. 10 b) Pregunta No. 12	Cuestionario de Campo (Sección II)
	Canales de Notificación	a) Capacidad de recepción de alertas emergentes o por mensaje de texto en un rango de 24 horas.	a) Pregunta No. 11	Cuestionario de Campo (Sección II)

Fuente: Elaboración propia.

Detalla la descomposición analítica de la variable independiente, que estructura el artefacto tecnológico en tres dimensiones: la infraestructura de acceso, los componentes lógicos de usabilidad y los canales de mensajería. La tabla evidencia que los indicadores de rendimiento del sistema como la adaptabilidad a la señal celular y la velocidad en la visualización del mapa digital por parcela.

1.9.2 Dependientes

Tabla 2. *Matriz de Operacionalización de la Variable Dependiente.*

Variable Dependiente	**Dimensiones de Impacto**	**Indicadores de Medición**	**Reactivo / Pregunta del Instrumento**	**Fuente de Datos**
Optimización de la toma de decisiones preventivas y reducción de impactos	Planificación Agrícola Preventiva	a) Capacidad de ajuste en las actividades de campo según el pronóstico. b) Importancia asignada a la información climática personalizada.	a) Pregunta No. 14 b) Pregunta No. 17	Cuestionario de Campo (Sección II)

	Mitigación del Riesgo y Pérdidas	a) Nivel de protección del cultivo ante lluvias o sequías prolongadas. b) Reducción de costos financieros por reinversiones agrícolas.	a) Pregunta No. 13 b) Pregunta No. 15	Cuestionario de Campo (Sección II)
	Resiliencia y Transferencia Tecnológica	a) Disposición del agricultor para recibir capacitación técnica. b) Utilidad potencial percibida para fortalecer la economía del hogar.	a) Pregunta No. 16 b) Pregunta No. 18	Cuestionario de Campo (Sección II)

Fuente: Elaboración propia.

Expone la operativización de la variable dependiente, que proyecta el impacto socioeconómico y agronómico que se persigue alcanzar mediante la introducción de la herramienta móvil en las actividades de campo. Las dimensiones estructuradas permiten medir de forma cuantitativa la flexibilidad en la planificación agrícola, la contención del riesgo productivo ante anomalías climáticas prolongadas y la resiliencia económica general del núcleo familiar rural.

1.10 Tipo de la investigación

El presente estudio se clasifica como una investigación de tipo aplicada y tecnológica, desarrollada bajo un enfoque mixto. Es aplicada debido a que se enfoca en la resolución de un problema práctico, real e inmediato que afecta a una comunidad específica, como lo es la

vulnerabilidad y pérdida de cosechas por eventos meteorológicos extremos en el Corredor Seco, con base en los conocimientos y principios de la ingeniería de software.

Es tecnológica dado que el núcleo de la tesis radica en el diseño, codificación e implementación de un artefacto tecnológico (una aplicación móvil híbrida en Flutter) con el propósito de transformar y optimizar un entorno operativo rural que carece de herramientas de precisión locales.

El enfoque mixto se justifica metodológicamente porque la validación de la hipótesis combina dos vías complementarias. La vía cuantitativa se sustenta en el levantamiento, tabulación y análisis estadístico de los datos numéricos obtenidos mediante el cuestionario, lo que permite medir de forma objetiva los indicadores de viabilidad, la reducción de pérdidas estimadas y los niveles de aceptación tecnológica a través de la estadística descriptiva.

La vía cualitativa se apoya en la interpretación de las percepciones expresadas por los productores sobre su experiencia con el clima, sus prácticas de consulta del pronóstico y sus expectativas frente a la herramienta, información que no es reducible a una cifra, pero que resulta determinante para parametrizar los umbrales de alerta y definir las decisiones de interfaz. La combinación de ambas vías permite establecer con rigor la relación entre el uso del sistema de monitoreo y la optimización de las decisiones preventivas de los productores.

1.11 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es el plan que guía la manera en que se llevará a cabo un estudio, pues define la estrategia general adoptada, los procedimientos de recolección de la información, el tipo de análisis que se aplicará sobre los datos y la secuencia de actividades necesaria para dar respuesta al problema planteado (Coloma Martínez, 2024).

Para el presente estudio se adopta un diseño no experimental, transversal y de campo, complementado con una fase de construcción y validación del artefacto tecnológico. Es no experimental porque las variables no se manipulan de manera deliberada ni se asignan los sujetos a condiciones controladas: las condiciones climáticas, la infraestructura de conectividad y las prácticas agrícolas se registran tal como se presentan en el entorno real del productor.

Es transversal porque la recolección se realiza en un único momento del tiempo, con la aplicación del cuestionario una sola vez a la muestra seleccionada, con el propósito de describir el estado actual de las variables y no su evolución a lo largo de varios periodos.

Es de campo porque la información se obtiene directamente de los productores agrícolas en los siete municipios donde desarrollan su actividad, y no a partir de registros administrativos o de bases de datos de terceros. Esta condición resulta indispensable, dado que las variables de conectividad, alfabetización digital y exposición al riesgo climático solo pueden caracterizarse con precisión en el lugar donde se manifiestan.

El procedimiento se organiza en cuatro fases sucesivas. La primera comprende la revisión documental y la delimitación de las variables, a partir de la cual se construyó el instrumento. La segunda corresponde al trabajo de campo, con la aplicación del cuestionario mediante formulario digital a la muestra calculada de ciento veintidós productores.

La tercera abarca el procesamiento y la tabulación de los datos, su representación gráfica y su interpretación mediante estadística descriptiva, cuyos resultados alimentan la definición de los umbrales de alerta y los requerimientos de la aplicación. La cuarta consiste en la construcción del sistema bajo el marco de trabajo Scrum y su validación con un grupo reducido de productores en condiciones reales de uso.

El control de las variables se ejerce mediante la delimitación geográfica al departamento de Jalapa, la selección de participantes que cumplan la condición de ser productores activos con acceso a un teléfono inteligente, y el uso de un instrumento con opciones cerradas de selección única, que reduce la ambigüedad en las respuestas y facilita la comparación entre casos.

1.12 Métodos y técnicas de investigación

Los métodos y técnicas definen el camino que sigue la investigación para obtener información válida y construir la solución. Se emplean el método científico y el inductivo para el proceso investigativo, y el marco de trabajo Scrum para el desarrollo del software.

1.12.1 Método científico

El método científico se define como un conjunto de pasos ordenados y sistematizados que guían la investigación hacia la obtención de conocimientos válidos, fundamentándose en la

observación, la formulación de hipótesis, la experimentación rigurosa mediante variables controladas y el análisis estadístico de los resultados para confirmar o refutar las premisas iniciales (Arreaga, 2022).

La aplicación de este método en la investigación es indispensable debido a que el proyecto cuenta con una componente práctica y experimental orientada a comprobar la hipótesis planteada. El proceso iniciará con la observación directa de la asimetría informativa climática y las pérdidas en las parcelas de Jalapa. Posteriormente, se formuló la hipótesis que vincula el software móvil con la optimización de decisiones.

La fase de experimentación consistirá en el desarrollo del prototipo tecnológico y su despliegue controlado en campo para interactuar con los agricultores. Finalmente, se procederá al análisis de datos de las encuestas para evaluar de forma matemática el comportamiento de las variables y emitir las conclusiones de ingeniería.

1.12.2 Método inductivo

El método inductivo es aquel proceso de razonamiento que parte del análisis de observaciones, hechos o fenómenos particulares bien definidos para descubrir regularidades, patrones o leyes generales que permiten fundamentar una conclusión o solución científica general (Olazabal Chávez, 2022).

El método inductivo se aplicará formalmente en esta investigación práctica debido a que el diseño del motor lógico de alertas del software se fundamenta en la experimentación y observación de casos particulares para llegar a una solución generalizada.

La parametrización de los algoritmos de la aplicación móvil partirá del estudio de eventos climáticos individuales y microclimáticos que afectan a parcelas específicas. El análisis detallado de estos casos particulares permitirá inducir y estandarizar las reglas lógicas y los umbrales agrometeorológicos universales que controlarán el sistema de alertas automáticas a nivel departamental.

1.12.3 Metodologías de desarrollo de software

Scrum es un marco de trabajo ágil e iterativo diseñado para la gestión y desarrollo de software complejo, el cual se basa en la entrega incremental de valor a través de ciclos

temporales fijos llamados iteraciones, lo que permite la adaptación constante de requerimientos, la inspección continua y la optimización del producto final según las necesidades del usuario (Atlassian, 2026; Quisaguano Collaguazo et al., 2022).

Para la construcción del sistema agrometeorológico se implementará la metodología ágil Scrum, debido a que permite un desarrollo modular, flexible y centrado en las necesidades reales del agricultor rural detectadas en la encuesta (como interfaces simples y mapas digitales localizados). El proceso se gestionará a través de iteraciones de dos semanas de duración. Al inicio del proyecto se definirá la pila del producto, que traduce los requerimientos funcionales en historias de usuario técnicas.

Durante el desarrollo, se priorizarán los componentes críticos en los primeros ciclos, con los esfuerzos enfocados en el componente de adquisición de datos del lado del servidor mediante APIs y en el motor lógico de procesamiento de umbrales. Al cierre de cada iteración, se realizarán las fases de revisión y retrospectiva del incremento de software funcional programado en Flutter, para asegurar que la herramienta móvil sea ligera, escalable y responda con precisión a la conectividad intermitente del campo.

1.13 Instrumento de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos se define como cualquier recurso, formato o dispositivo válido y confiable del cual se sirve el investigador para aproximarse a los fenómenos, extraer de ellos información sistemática y registrar las variables de interés con el objetivo de someter a prueba la hipótesis planteada en el estudio (Arreaga, 2022).

Para la ejecución de la fase empírica y la validación técnica del presente proyecto de graduación, se diseñó un cuestionario estructurado bajo una escala de opciones cerradas de selección única, planificado para ser administrado de forma digital mediante la plataforma Google Forms.

La justificación de emplear este recurso radica en su viabilidad para cuantificar de manera sistemática variables de usabilidad tecnológica en entornos rurales, la infraestructura de conectividad de los usuarios y la percepción de la efectividad del software móvil frente al riesgo climático. Este diseño metodológico normado permite que cada reactivo recopile datos

homogéneos, lo que mitiga el sesgo en las respuestas y prepara la matriz de información para su fácil tabulación y posterior análisis estadístico descriptivo.

1.13.1 Objetivo del instrumento

El objetivo del instrumento de recolección de datos es recopilar información cuantitativa directamente de los productores agrícolas del departamento de Jalapa, para evaluar la viabilidad técnica, la adaptabilidad de la interfaz y la experiencia de usuario (UI/UX, por sus siglas en inglés) y la eficacia del motor de alertas agrometeorológicas automatizadas como herramienta orientada a mejorar la toma de decisiones preventivas y a reducir las pérdidas en las cosechas de la región.

De forma específica, el cuestionario persigue medir tres componentes críticos, que corresponden a las secciones en que se organizan sus preguntas y a los aspectos que después se analizan en los resultados de la encuesta:

a) Caracterizar el perfil sociodemográfico, la tenencia de dispositivos inteligentes y las condiciones actuales de conectividad celular en las parcelas de cultivo de los usuarios (Preguntas No. 1 a la No. 7).
b) Identificar el histórico de vulnerabilidad climática del sector y evaluar la intención de adopción de la aplicación móvil frente a la latencia de los canales de información tradicionales (Preguntas No. 8 a la No. 12).
c) Cuantificar el impacto potencial del software en la mitigación de riesgos productivos, la disminución de costos por reinversión agrícola y el fortalecimiento de la economía del hogar rural frente al cambio climático (Preguntas No. 13 a la No. 18).

1.13.2 Población estadística

La población o universo se define como la totalidad de los elementos, individuos, objetos o medidas que poseen características comunes y específicas en un espacio y tiempo determinados, los cuales serán el objeto de estudio y hacia los cuales se generalizarán las conclusiones de la investigación científica (Olazabal Chávez, 2022).

La población estadística objeto de esta investigación está conformada por la totalidad de los pequeños y medianos productores agrícolas que operan de forma activa dentro de los límites territoriales de los siete municipios del departamento de Jalapa, Guatemala. Específicamente, se

delimita el universo a aquellos agricultores registrados que se dedican principalmente a la explotación de sistemas productivos de granos básicos (maíz y frijol), horticultura (tomate, cebolla y papa), caficultura y frutales, áreas que se sitúan bajo la influencia microclimática de la vulnerabilidad del Corredor Seco regional.

Con base en los registros de asistencia técnica y extensión agrícola provistos por las sedes departamentales del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) en Jalapa, se establece una población de referencia finita calculada en 12,500 productores agrícolas vinculados a programas de tecnificación e información rural.

1.13.3 Muestra

La muestra es un subconjunto representativo, seleccionado de manera sistemática o probabilística a partir de la población total, cuyas características e indicadores deben reproducir proporcionalmente las cualidades del universo con el fin de permitir la inferencia estadística de los resultados con un margen de error y nivel de confianza preestablecidos (Arreaga, 2022).

Debido a las limitantes logísticas y geográficas que impone la distribución de las laderas y valles cultivados en la región, la validación del sistema móvil requiere la selección de una muestra probabilística representativa. Para su cálculo se utilizó la ecuación estadística para universos finitos conocidos, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 Z^2}$$

Donde:

a) n: tamaño de la muestra.
b) N: tamaño de la población (12,500 productores agrícolas).
c) σ: desviación estándar poblacional constante (0.5).
d) Z: valor del nivel de confianza al 95% (1.96).
e) e: límite aceptable de error muestral al 9% (0.09).

Sustitución de los valores:

$$n = \frac{12500 \times (0.5)^2 \times (1.96)^2}{(12500-1) \times (0.09)^2 + (0.5)^2 \times (1.96)^2}$$

$$n = \frac{12005}{102.20}$$

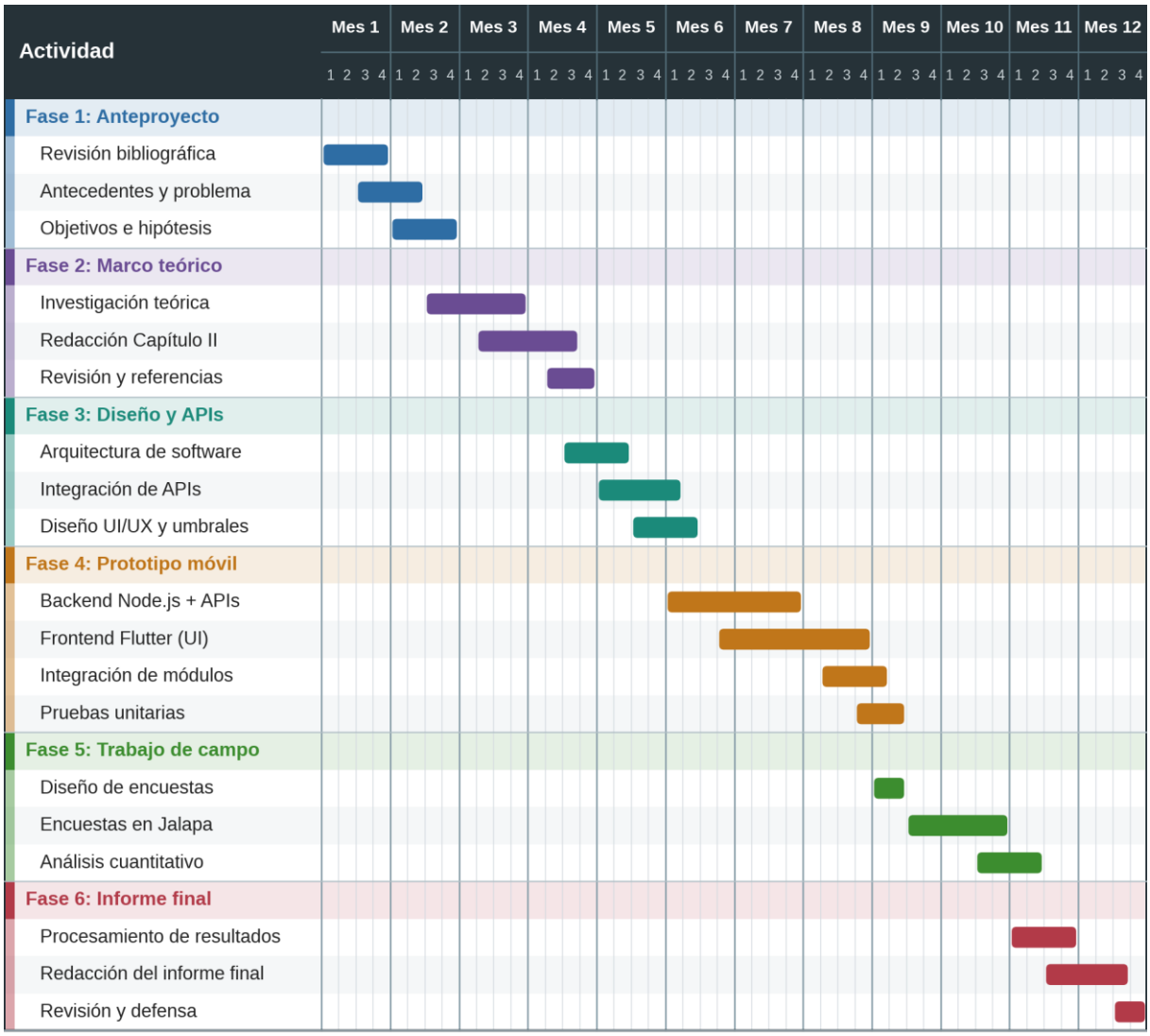
$$n = 117.46$$

Al aplicar dichos criterios sobre el universo base de 12,500 agricultores provisto por las sedes departamentales del MAGA, y con un margen de error máximo admisible del 9%, se obtuvo de forma matemática una muestra definitiva de 118 productores agrícolas.

1.13.4 Cronograma

La planificación de las actividades se organiza en un plazo de doce meses, distribuidos en cuarenta y ocho semanas y agrupados en seis fases secuenciales. La Figura 2 muestra la distribución de cada fase a lo largo de las semanas del proyecto, lo que permite dar seguimiento al avance y anticipar posibles retrasos.

Figura 2. *Cronograma de actividades del proyecto de graduación.*



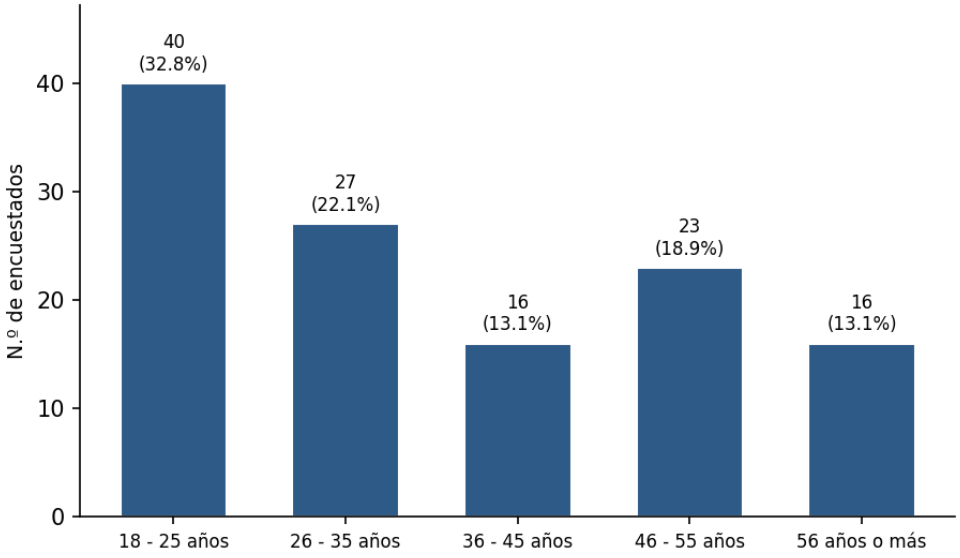
Fuente: Elaboración propia.

1.13.5 Resultados de la recolección de datos

Una vez aplicado el instrumento de recolección de datos a través de la plataforma Google Forms, se presentan los resultados obtenidos de encuestar a la muestra de productores agrícolas del departamento de Jalapa. La muestra efectiva encuestada fue de 122 productores, cifra que supera el tamaño mínimo calculado para la investigación. A continuación, se exponen, para cada reactivo, la representación gráfica, la tabla de frecuencias y el análisis correspondiente.

1.13.5.1 Gráfica 1

Figura 3. *Rango de edad de los productores encuestados.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. *Rango de edad de los productores encuestados.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
18 - 25 años	40	32.8%
26 - 35 años	27	22.1%
36 - 45 años	16	13.1%
46 - 55 años	23	18.9%
56 años o más	16	13.1%
Total	**122**	**100%**

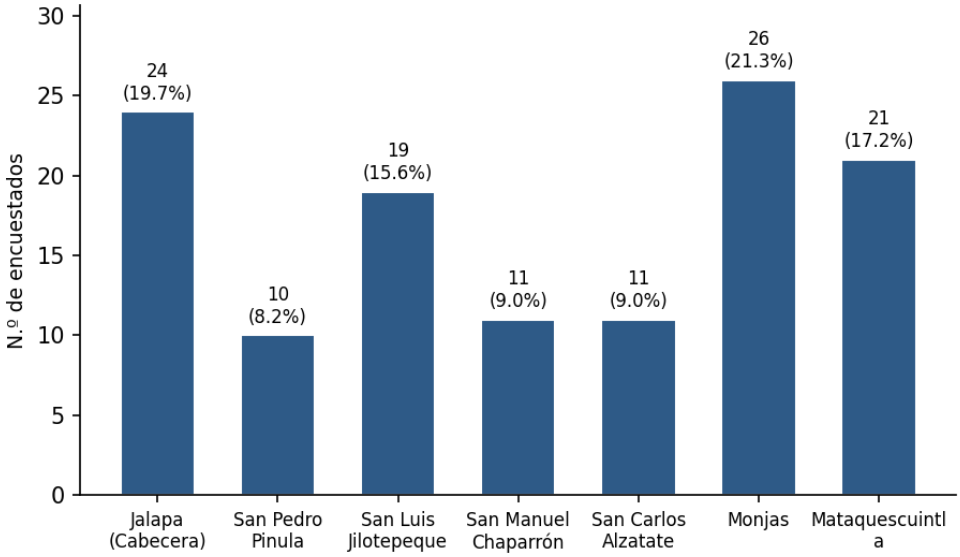
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 32.8% (40 encuestados) indicó “18 - 25 años”; el 22.1% (27 encuestados) indicó “26 - 35 años”; el 13.1% (16 encuestados) indicó “36 - 45 años”; el 18.9% (23 encuestados) indicó “46 - 55 años”; el 13.1% (16 encuestados) indicó “56 años o más”.

Estos resultados evidencian que la mayoría de los productores encuestados se ubica en rangos de edad jóvenes y económicamente activos, lo cual representa una condición favorable para la adopción de la aplicación móvil, dado que este segmento poblacional suele presentar mayor familiaridad y disposición hacia el uso de dispositivos inteligentes.

1.13.5.2 Gráfica 2

Figura 4. *Distribución de los encuestados por municipio.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. *Distribución de los encuestados por municipio.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Jalapa (Cabecera)	24	19.7%
San Pedro Pinula	10	8.2%
San Luis Jilotepeque	19	15.6%
San Manuel Chaparrón	11	9.0%
San Carlos Alzatate	11	9.0%
Monjas	26	21.3%
Mataquescuintla	21	17.2%
Total	**122**	**100%**

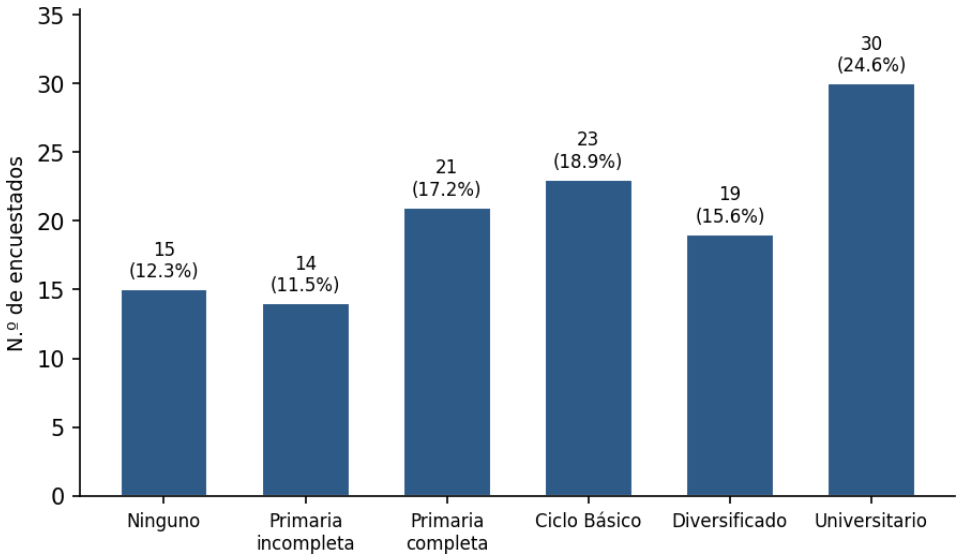
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 19.7% (24 encuestados) indicó “Jalapa (Cabecera)”; el 8.2% (10 encuestados) indicó “San Pedro Pinula”; el 15.6% (19 encuestados) indicó “San Luis Jilotepeque”; el 9.0% (11 encuestados) indicó “San Manuel Chaparrón”; el 9.0% (11 encuestados) indicó “San Carlos Alzatate”; el 21.3% (26 encuestados) indicó “Monjas”; el 17.2% (21 encuestados) indicó “Mataquescuintla”.

La distribución confirma que la muestra abarca los siete municipios del departamento de Jalapa, por lo que los datos recolectados reflejan la diversidad microclimática y productiva de la región, lo que fortalece la representatividad del estudio.

1.13.5.3 Gráfica 3

Figura 5. *Nivel educativo alcanzado por los encuestados.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. *Nivel educativo alcanzado por los encuestados.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Ninguno	15	12.3%
Primaria incompleta	14	11.5%
Primaria completa	21	17.2%
Ciclo Básico	23	18.9%
Diversificado	19	15.6%
Universitario	30	24.6%
Total	**122**	**100%**

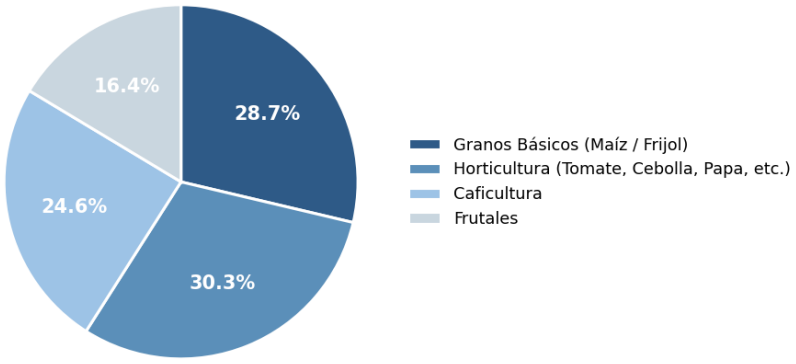
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 12.3% (15 encuestados) indicó “Ninguno”; el 11.5% (14 encuestados) indicó “Primaria incompleta”; el 17.2% (21 encuestados) indicó “Primaria completa”; el 18.9% (23 encuestados) indicó “Ciclo Básico”; el 15.6% (19 encuestados) indicó “Diversificado”; el 24.6% (30 encuestados) indicó “Universitario”.

Los resultados muestran una composición educativa heterogénea, con una proporción considerable de productores con escolaridad básica o primaria. Esto reafirma la necesidad de que la aplicación cuente con una interfaz sencilla e intuitiva que reduzca la barrera de alfabetización digital.

1.13.5.4 Gráfica 4

Figura 6. *Tipo de producción agrícola predominante.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. *Tipo de producción agrícola predominante.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Granos Básicos (Maíz / Frijol)	35	28.7%
Horticultura (Tomate, Cebolla, Papa, entre otros)	37	30.3%
Caficultura	30	24.6%
Frutales	20	16.4%
Total	**122**	**100%**

Fuente: Elaboración propia.

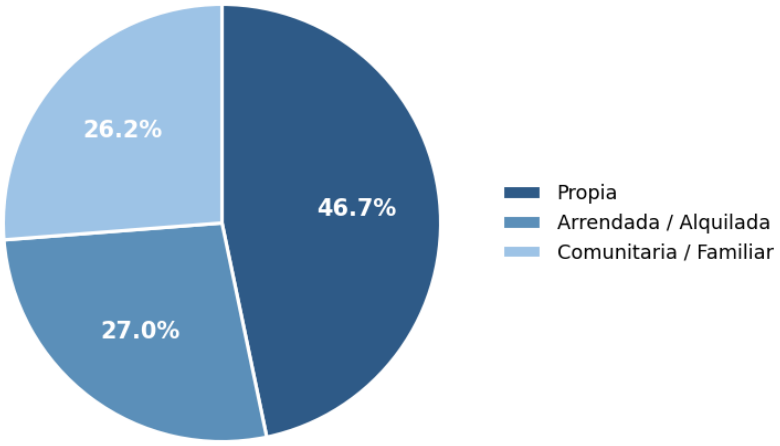
Según los datos obtenidos, el 28.7% (35 encuestados) indicó “Granos Básicos (Maíz / Frijol)”; el 30.3% (37 encuestados) indicó “Horticultura (Tomate, Cebolla, Papa, entre otros)”; el 24.6% (30 encuestados) indicó “Caficultura”; el 16.4% (20 encuestados) indicó “Frutales”.

La diversidad de sistemas productivos identificada implica que el motor lógico de alertas debe parametrizarse según los umbrales agronómicos propios de cada tipo de cultivo, para

asegurar que las notificaciones sean pertinentes para granos básicos, horticultura, caficultura y frutales.

1.13.5.5 Gráfica 5

Figura 7. *Régimen de tenencia de la tierra.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. *Régimen de tenencia de la tierra.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Propia	57	46.7%
Arrendada / Alquilada	33	27.0%
Comunitaria / Familiar	32	26.2%
Total	**122**	**100%**

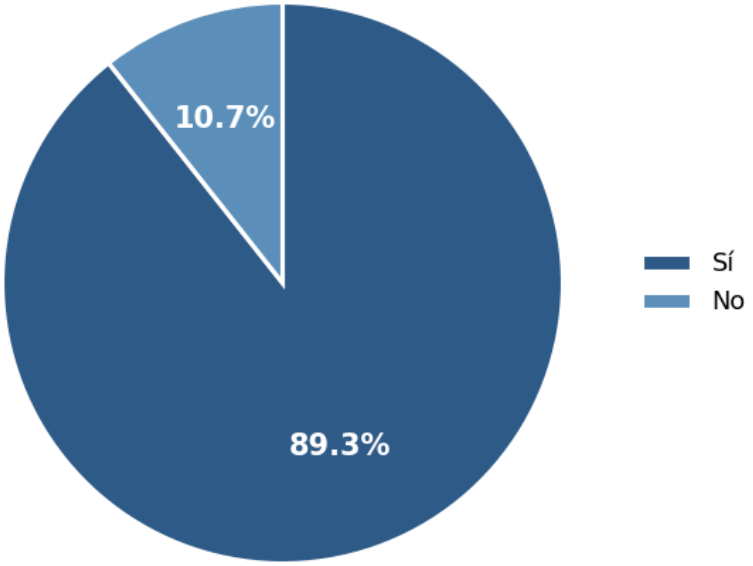
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 46.7% (57 encuestados) indicó “Propia”; el 27.0% (33 encuestados) indicó “Arrendada / Alquilada”; el 26.2% (32 encuestados) indicó “Comunitaria / Familiar”.

El hecho de que una parte significativa de los productores arriende o trabaje tierras comunitarias intensifica la relevancia del proyecto, porque para estos agricultores la pérdida de una cosecha se traduce en una afectación financiera directa que las alertas preventivas pueden contribuir a mitigar.

1.13.5.6 Gráfica 6

Figura 8. *Tenencia de teléfono inteligente propio.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. *Tenencia de teléfono inteligente propio.*

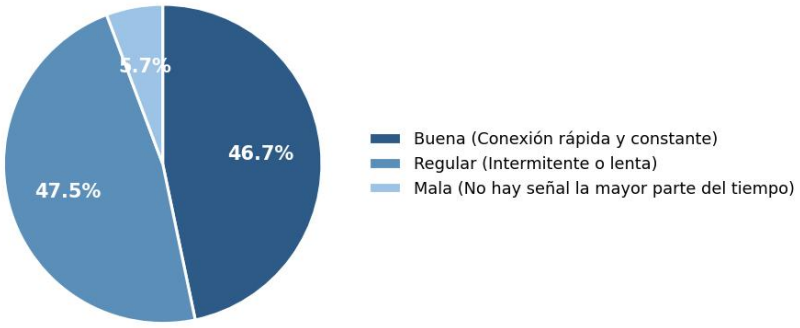
Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Sí	109	89.3%
No	13	10.7%
Total	**122**	**100%**

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 89.3% (109 encuestados) indicó “Sí”; el 10.7% (13 encuestados) indicó “No”. El alto porcentaje de tenencia de teléfono inteligente confirma la viabilidad técnica de distribuir la aplicación entre la población objetivo, y valida uno de los supuestos de infraestructura tecnológica del proyecto.

1.13.5.7 Gráfica 7

Figura 9. *Calidad de la señal de internet móvil en la parcela.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. *Calidad de la señal de internet móvil en la parcela.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Buena (Conexión rápida y constante)	57	46.7%
Regular (Intermitente o lenta)	58	47.5%
Mala (No hay señal la mayor parte del tiempo)	7	5.7%
Total	**122**	**100%**

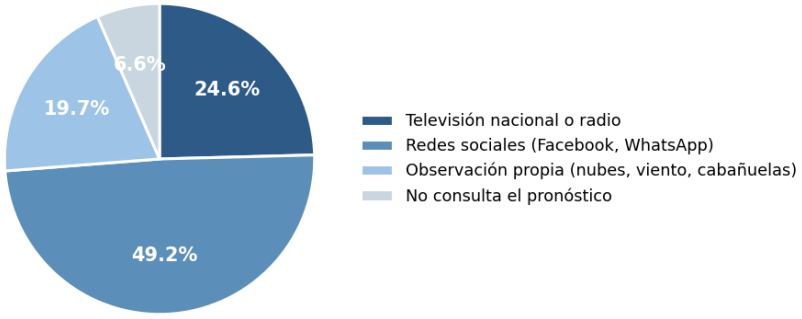
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 46.7% (57 encuestados) indicó “Buena (Conexión rápida y constante)”; el 47.5% (58 encuestados) indicó “Regular (Intermitente o lenta)”; el 5.7% (7 encuestados) indicó “Mala (No hay señal la mayor parte del tiempo)”.

Aunque la mayoría reporta una señal buena o regular, la presencia de zonas con conectividad intermitente confirma que la aplicación debe diseñarse de manera ligera y con mecanismos de almacenamiento local, que garantizan su funcionamiento bajo condiciones de red inestables en el campo.

1.13.5.8 Gráfica 8

Figura 10. *Medio principal de consulta del pronóstico del tiempo.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. *Medio principal de consulta del pronóstico del tiempo.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Televisión nacional o radio	30	24.6%
Redes sociales (Facebook, WhatsApp)	60	49.2%
Observación propia (nubes, viento, cabañuelas)	24	19.7%
No consulta el pronóstico	8	6.6%
Total	**122**	**100%**

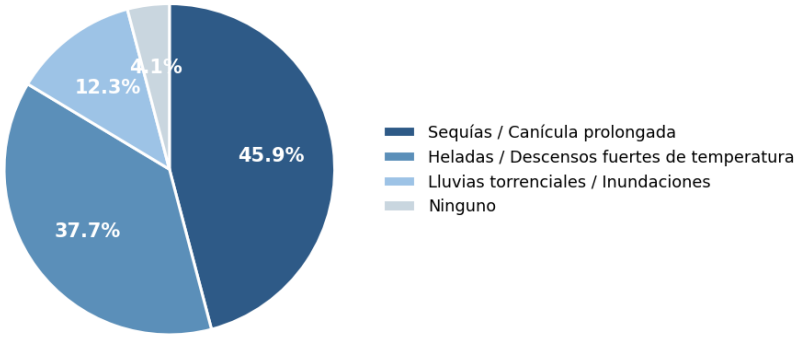
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 24.6% (30 encuestados) indicó “Televisión nacional o radio”; el 49.2% (60 encuestados) indicó “Redes sociales (Facebook, WhatsApp)”; el 19.7% (24 encuestados) indicó “Observación propia (nubes, viento, cabañuelas)”; el 6.6% (8 encuestados) indicó “No consulta el pronóstico”.

El predominio de las redes sociales y los medios tradicionales como fuentes de pronóstico evidencia un vacío informativo, pues estos canales ofrecen información generalizada y no localizada. Esto valida la pertinencia de una aplicación que entregue alertas específicas por parcela.

1.13.5.9 Gráfica 9

Figura 11. *Fenómeno climático que más ha dañado la producción.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. *Fenómeno climático que más ha dañado la producción.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Sequías / Canícula prolongada	56	45.9%
Heladas / Descensos fuertes de temperatura	46	37.7%
Lluvias torrenciales / Inundaciones	15	12.3%
Ninguno	5	4.1%
Total	**122**	**100%**

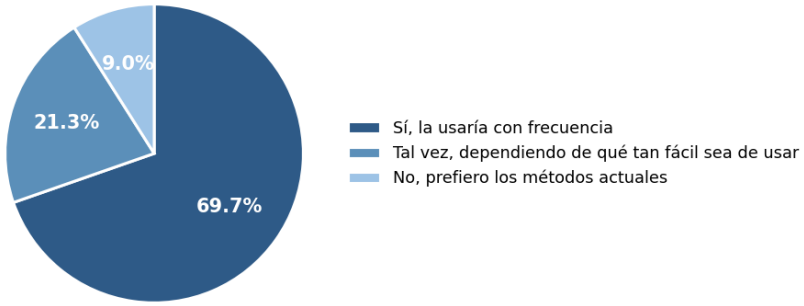
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 45.9% (56 encuestados) indicó “Sequías / Canícula prolongada”; el 37.7% (46 encuestados) indicó “Heladas / Descensos fuertes de temperatura”; el 12.3% (15 encuestados) indicó “Lluvias torrenciales / Inundaciones”; el 4.1% (5 encuestados) indicó “Ninguno”.

La prevalencia de sequías, canículas y heladas como principales amenazas coincide con los tipos de alerta que el sistema propuesto monitoreará, lo que confirma la relevancia agronómica de los umbrales de riesgo seleccionados para el motor lógico de la aplicación.

1.13.5.10 Gráfica 10

Figura 12. *Disposición a instalar y usar la aplicación móvil.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. *Disposición a instalar y usar la aplicación móvil.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Sí, la usaría con frecuencia	85	69.7%
Tal vez, dependiendo de qué tan fácil sea de usar	26	21.3%
No, prefiero los métodos actuales	11	9.0%
Total	**122**	**100%**

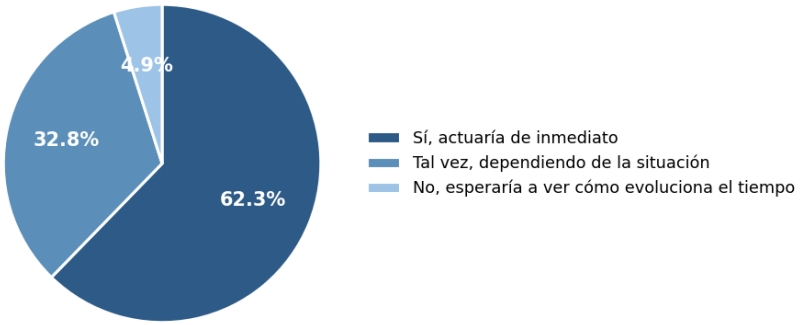
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 69.7% (85 encuestados) indicó "Sí, la usaría con frecuencia"; el 21.3% (26 encuestados) indicó "Tal vez, dependiendo de qué tan fácil sea de usar"; el 9.0% (11 encuestados) indicó "No, prefiero los métodos actuales".

La elevada intención de adopción demuestra que existe una demanda real por parte de los productores hacia una herramienta de este tipo, lo que respalda la viabilidad social y la pertinencia del desarrollo tecnológico propuesto.

1.13.5.11 Gráfica 11

Figura 13. *Disposición a tomar medidas preventivas ante una alerta de helada.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. *Disposición a tomar medidas preventivas ante una alerta de helada.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Sí, actuaría de inmediato	76	62.3%
Tal vez, dependiendo de la situación	40	32.8%
No, esperaría a ver cómo evoluciona el tiempo	6	4.9%
Total	**122**	**100%**

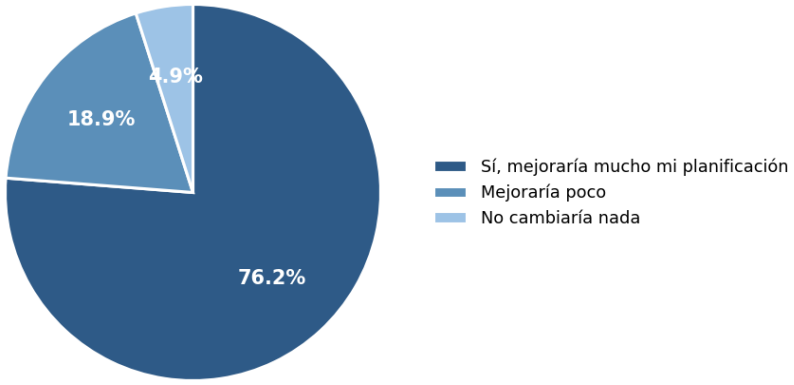
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 62.3% (76 encuestados) indicó "Sí, actuaría de inmediato"; el 32.8% (40 encuestados) indicó "Tal vez, dependiendo de la situación"; el 4.9% (6 encuestados) indicó "No, esperaría a ver cómo evoluciona el tiempo".

El que la mayoría de los productores manifieste disposición a actuar de inmediato ante una alerta anticipada respalda la variable dependiente del estudio, al evidenciar que la información oportuna se traduce efectivamente en decisiones preventivas en campo.

1.13.5.12 Gráfica 12

Figura 14. *Percepción sobre el mapa digital para la planificación.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. *Percepción sobre el mapa digital para la planificación.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Sí, mejoraría mucho mi planificación	93	76.2%
Mejoraría poco	23	18.9%
No cambiaría nada	6	4.9%
Total	**122**	**100%**

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 76.2% (93 encuestados) indicó “Sí, mejoraría mucho mi planificación”; el 18.9% (23 encuestados) indicó “Mejoraría poco”; el 4.9% (6 encuestados) indicó “No cambiaría nada”.

La percepción mayoritariamente positiva sobre el mapa digital valida la utilidad del módulo de visualización geoespacial y confirma que la representación localizada de las condiciones climáticas aporta valor a la planificación de las labores agrícolas.

1.13.5.13 Gráfica 13

Figura 15. *Disposición a recibir capacitación técnica.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. *Disposición a recibir capacitación técnica.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Sí, con gusto participaría	85	69.7%
Solo si la capacitación fuera breve y sencilla	28	23.0%
No me interesa	9	7.4%
Total	**122**	**100%**

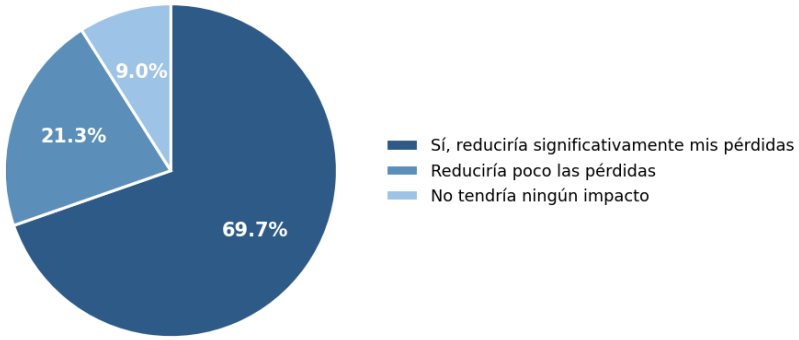
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 69.7% (85 encuestados) indicó “Sí, con gusto participaría”; el 23.0% (28 encuestados) indicó “Solo si la capacitación fuera breve y sencilla”; el 7.4% (9 encuestados) indicó “No me interesa”.

La marcada disposición a recibir capacitación sugiere que el despliegue de la aplicación debe acompañarse de procesos de acompañamiento técnico, lo que favorecería la transferencia tecnológica y la apropiación de la herramienta por parte de los productores.

1.13.5.14 Gráfica 14

Figura 16. *Percepción sobre la reducción de pérdidas mediante alertas.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. *Percepción sobre la reducción de pérdidas mediante alertas.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Sí, reduciría significativamente mis pérdidas	85	69.7%
Reduciría poco las pérdidas	26	21.3%
No tendría ningún impacto	11	9.0%
Total	**122**	**100%**

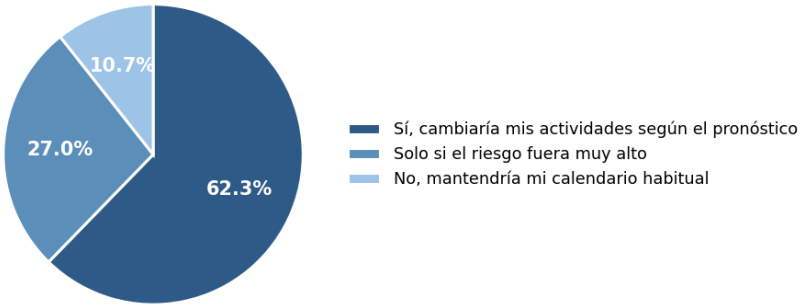
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 69.7% (85 encuestados) indicó "Sí, reduciría significativamente mis pérdidas"; el 21.3% (26 encuestados) indicó "Reduciría poco las pérdidas"; el 9.0% (11 encuestados) indicó "No tendría ningún impacto".

El que la mayoría considere que las alertas automatizadas reducirían significativamente sus pérdidas respalda de manera directa la hipótesis del proyecto, al vincular el uso de la herramienta con la disminución de los impactos negativos en la producción.

1.13.5.15 Gráfica 15

Figura 17. *Disposición a ajustar actividades según el pronóstico.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. *Disposición a ajustar actividades según el pronóstico.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Sí, cambiaría mis actividades según el pronóstico	76	62.3%
Solo si el riesgo fuera muy alto	33	27.0%
No, mantendría mi calendario habitual	13	10.7%
Total	**122**	**100%**

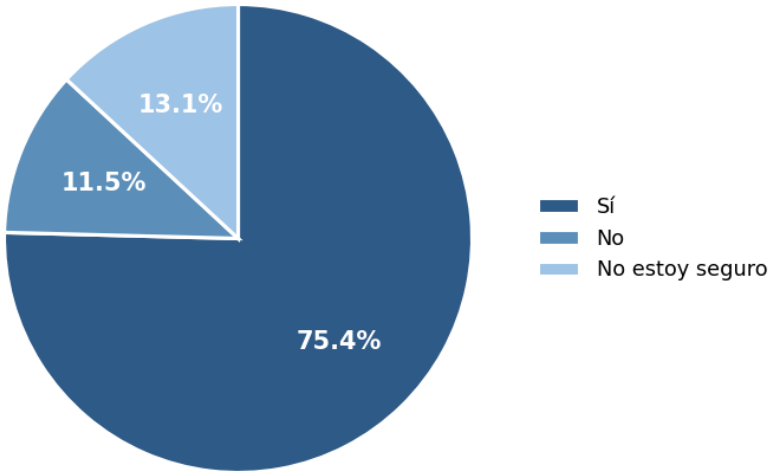
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 62.3% (76 encuestados) indicó "Sí, cambiaría mis actividades según el pronóstico"; el 27.0% (33 encuestados) indicó "Solo si el riesgo fuera muy alto"; el 10.7% (13 encuestados) indicó "No, mantendría mi calendario habitual".

La disposición a modificar las actividades agrícolas en función del pronóstico confirma que el acceso a información meteorológica oportuna optimiza la toma de decisiones preventivas, lo que fortalece la relación causal planteada en la investigación.

1.13.5.16 Gráfica 16

Figura 18. *Percepción sobre la reducción de costos de reinversión.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. *Percepción sobre la reducción de costos de reinversión.*

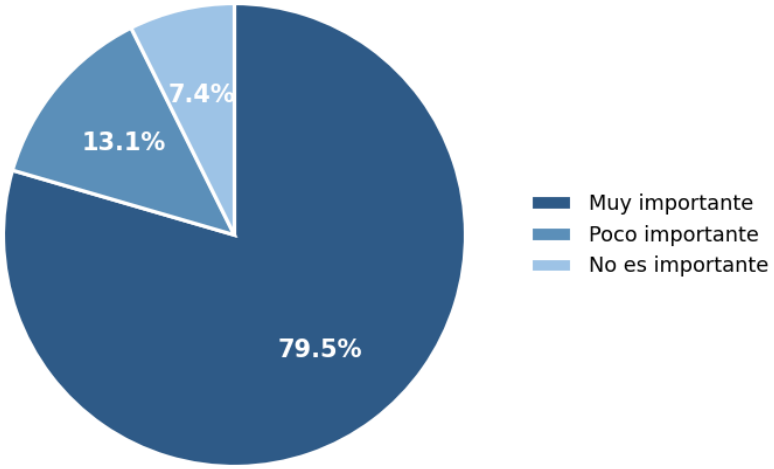
Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Sí	92	75.4%
No	14	11.5%
No estoy seguro	16	13.1%
Total	**122**	**100%**

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 75.4% (92 encuestados) indicó "Sí"; el 11.5% (14 encuestados) indicó "No"; el 13.1% (16 encuestados) indicó "No estoy seguro". La percepción de que las alertas podrían reducir los costos por reinversión respalda la dimensión de resiliencia económica del estudio y evidencia el potencial de la herramienta para fortalecer la estabilidad financiera del hogar rural.

1.13.5.17 Gráfica 17

Figura 19. *Importancia de la información meteorológica personalizada.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. *Importancia de la información meteorológica personalizada.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Muy importante	97	79.5%
Poco importante	16	13.1%
No es importante	9	7.4%
Total	**122**	**100%**

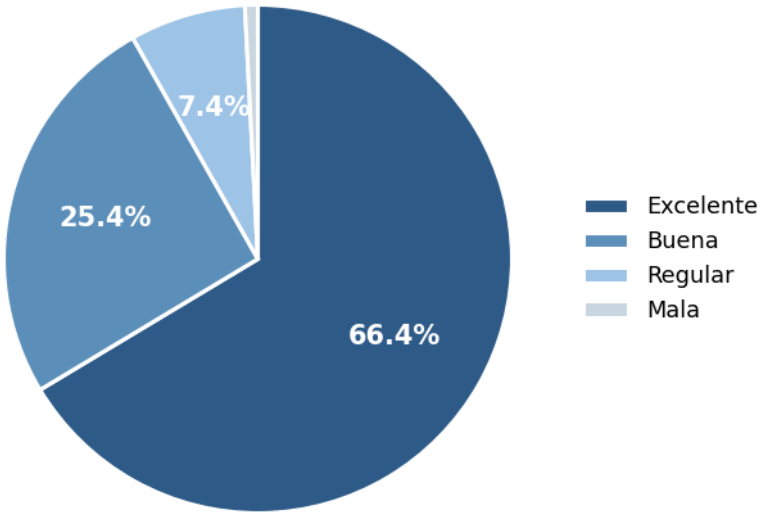
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 79.5% (97 encuestados) indicó “Muy importante”; el 13.1% (16 encuestados) indicó “Poco importante”; el 7.4% (9 encuestados) indicó “No es importante”.

La importancia atribuida a la información meteorológica personalizada confirma la existencia de una necesidad latente de datos localizados, lo que sustenta la justificación del proyecto y la demanda por soluciones agrometeorológicas de precisión.

1.13.5.18 Gráfica 18

Figura 20. *Calificación de la utilidad potencial de la aplicación.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. *Calificación de la utilidad potencial de la aplicación.*

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Excelente	81	66.4%
Buena	31	25.4%
Regular	9	7.4%
Mala	1	0.8%
Total	**122**	**100%**

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, el 66.4% (81 encuestados) indicó “Excelente”; el 25.4% (31 encuestados) indicó “Buena”; el 7.4% (9 encuestados) indicó “Regular”; el 0.8% (1 encuestados) indicó “Mala”.

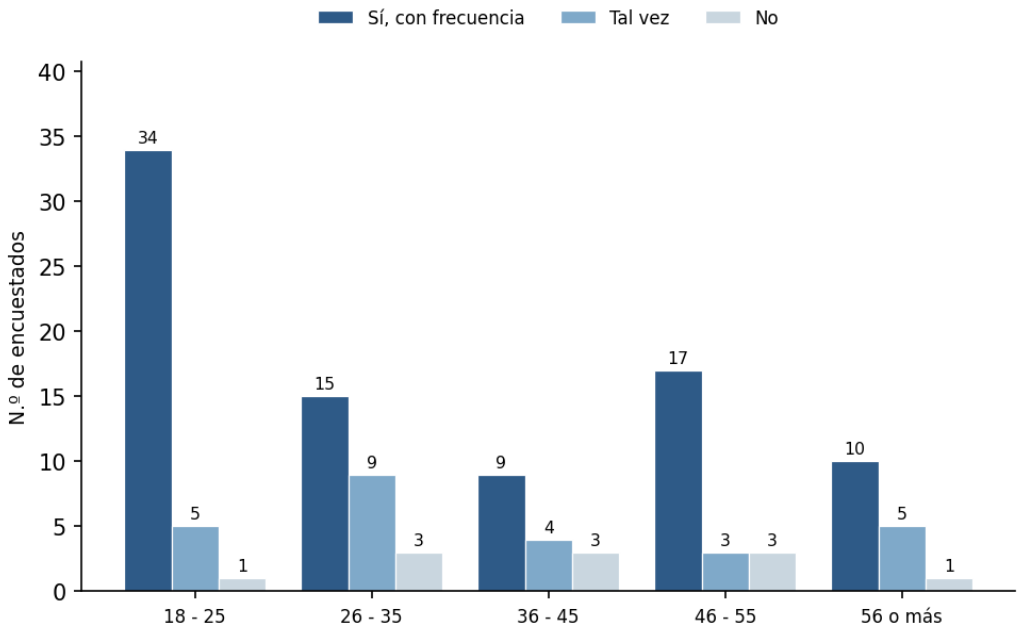
La valoración mayoritariamente positiva sobre la utilidad potencial de la aplicación es una validación favorable de la propuesta, que evidencia que los productores reconocen el valor de la herramienta como apoyo frente a la variabilidad climática.

1.13.6 Gráficas Cruzadas

Con el propósito de profundizar en el análisis, se presentan a continuación gráficas cruzadas que relacionan las principales variables de la investigación con las características demográficas de los productores encuestados. Este tipo de análisis permite identificar cómo se comporta la percepción y la disposición hacia la aplicación móvil en función del perfil de cada productor.

1.13.6.1 Gráfica Cruzada 1

Figura 21. *Disposición a usar la aplicación móvil según el rango de edad.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. *Disposición a usar la aplicación móvil según el rango de edad.*

Categoría	Sí, con frecuencia	Tal vez	No	Total
18 - 25 años	34	5	1	**40**
26 - 35 años	15	9	3	**27**
36 - 45 años	9	4	3	**16**
46 - 55 años	17	3	3	**23**
56 años o más	10	5	1	**16**
Total	**85**	**26**	**11**	**122**

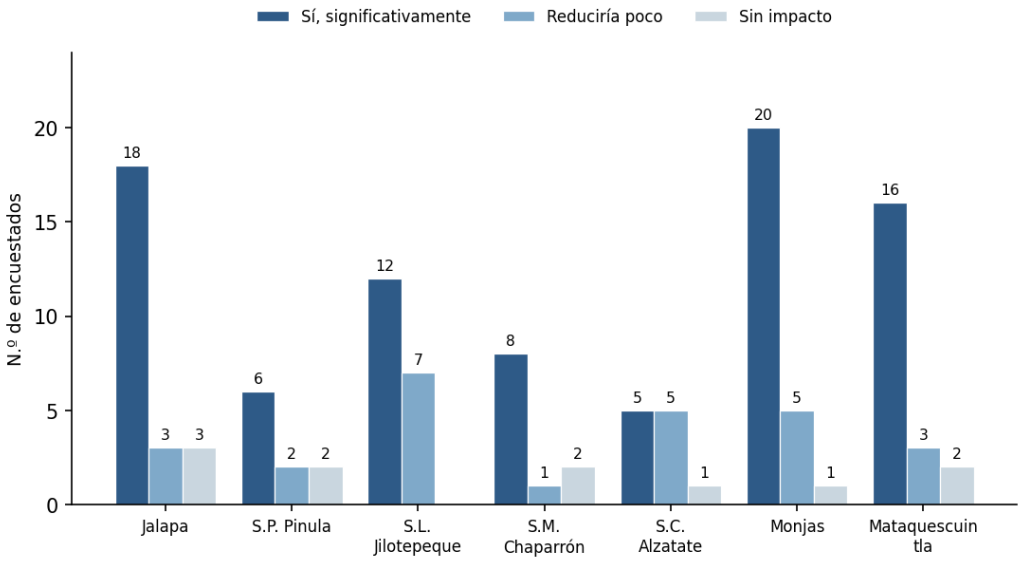
Fuente: Elaboración propia.

Al cruzar el rango de edad con la disposición a usar la aplicación, se observa que la intención de adopción es alta en todos los grupos, en especial en el rango de 18 a 25 años, donde la gran mayoría la usaría con frecuencia. La disposición se mantiene sólida en los rangos de mayor edad, aunque con una proporción algo mayor de respuestas intermedias.

Esto confirma que, si bien los productores jóvenes muestran la mayor apertura tecnológica, la aceptación de la herramienta es transversal a todas las edades, lo que respalda la viabilidad de su adopción en el departamento.

1.13.6.2 Gráfica Cruzada 2

Figura 22. *Percepción de la reducción de pérdidas según el municipio.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. *Percepción de la reducción de pérdidas según el municipio.*

Categoría	Sí, significativamente	Reduciría poco	Sin impacto	Total
Jalapa (Cabecera)	18	3	3	**24**
San Pedro Pinula	6	2	2	**10**
San Luis Jilotepeque	12	7	0	**19**
San Manuel Chaparrón	8	1	2	**11**
San Carlos Alzatate	5	5	1	**11**
Monjas	20	5	1	**26**
Mataquescuintla	16	3	2	**21**

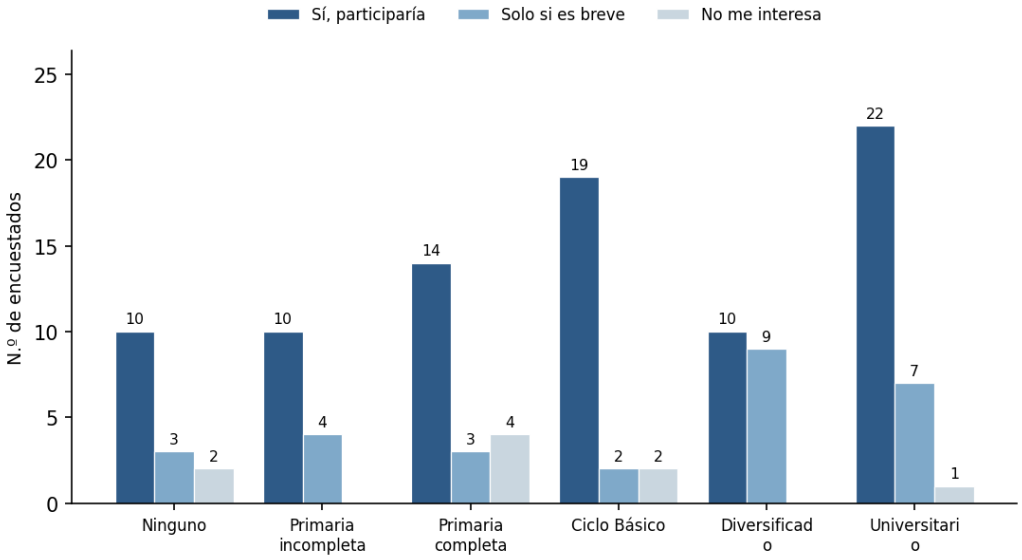
Total	**85**	**26**	**11**	**122**

Fuente: Elaboración propia.

El cruce entre el municipio y la percepción sobre la reducción de pérdidas evidencia que, en los siete municipios, predomina la creencia de que las alertas reducirían significativamente las pérdidas. Los municipios de Monjas, Jalapa y Mataquescuintla concentran la mayor cantidad de respuestas favorables, lo cual es coherente con su peso dentro de la muestra. Este patrón homogéneo respalda la pertinencia de la herramienta en todo el territorio departamental.

1.13.6.3 Gráfica Cruzada 3

Figura 23. *Disposición a recibir capacitación según el nivel educativo.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. *Disposición a recibir capacitación según el nivel educativo.*

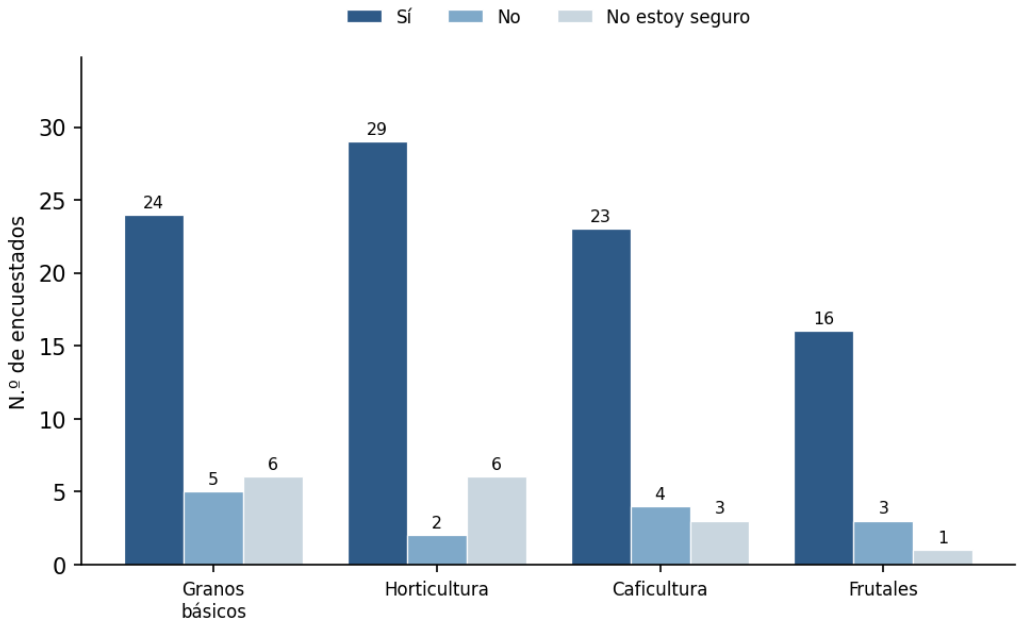
Categoría	Sí, participaría	Solo si es breve	No me interesa	Total
Ninguno	10	3	2	**15**
Primaria incompleta	10	4	0	**14**
Primaria completa	14	3	4	**21**
Ciclo Básico	19	2	2	**23**
Diversificado	10	9	0	**19**
Universitario	22	7	1	**30**
Total	**85**	**28**	**9**	**122**

Fuente: Elaboración propia.

Al relacionar el nivel educativo con la disposición a recibir capacitación, se aprecia que la apertura a capacitarse es alta en todos los niveles, e incluso los productores con menor escolaridad muestran marcada disposición a participar. Esto sugiere que un acompañamiento técnico facilitaría la adopción de la aplicación independientemente del nivel educativo, lo que contribuye a reducir la brecha digital.

1.13.6.4 Gráfica Cruzada 4

Figura 24. *Percepción de la reducción de costos según el tipo de producción.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. *Percepción de la reducción de costos según el tipo de producción.*

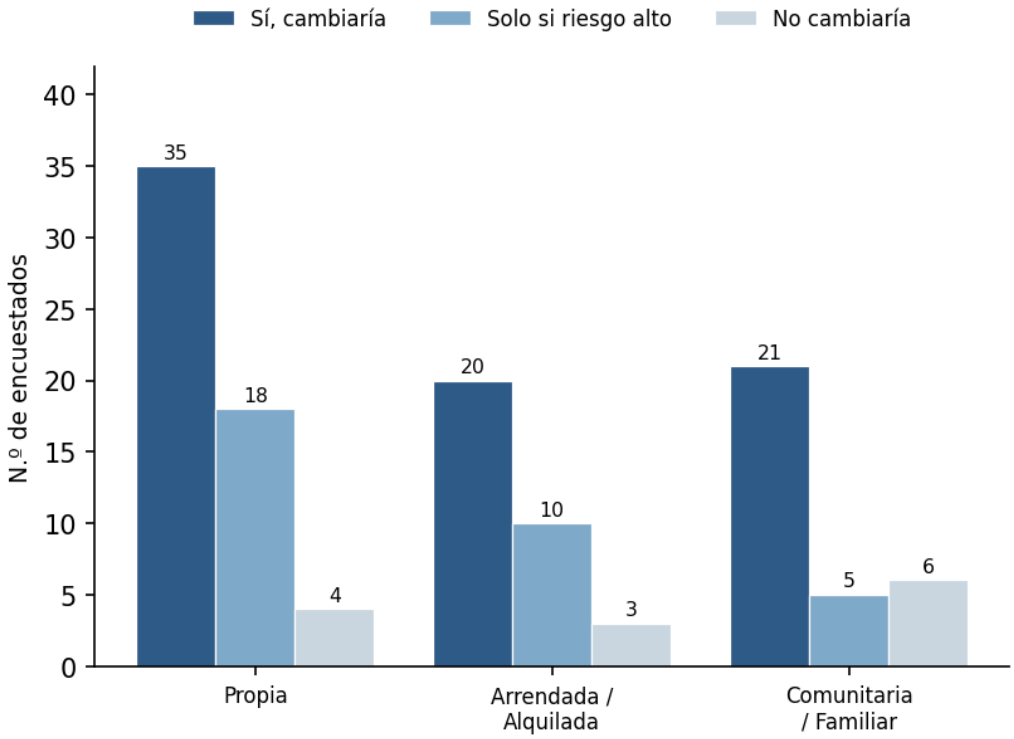
Categoría	Sí	No	No estoy seguro	Total
Granos Básicos (Maíz / Frijol)	24	5	6	**35**
Horticultura (Tomate, Cebolla, Papa, entre otros)	29	2	6	**37**
Caficultura	23	4	3	**30**
Frutales	16	3	1	**20**
Total	**92**	**14**	**16**	**122**

Fuente: Elaboración propia.

El cruce entre el tipo de producción y la percepción sobre la reducción de costos muestra que productores de todos los sistemas productivos consideran mayoritariamente que las alertas reducirían sus costos de reinversión. La horticultura y los granos básicos concentran la mayor cantidad de respuestas afirmativas, lo cual es consistente con su alta exposición a la variabilidad climática.

1.13.6.5 Gráfica Cruzada 5

Figura 25. *Disposición a ajustar las actividades según el régimen de tenencia.*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. *Disposición a ajustar las actividades según el régimen de tenencia.*

Categoría	Sí, cambiaría	Solo si riesgo alto	No cambiaría	Total
Propia	35	18	4	**57**
Arrendada / Alquilada	20	10	3	**33**
Comunitaria / Familiar	21	5	6	**32**
Total	**76**	**33**	**13**	**122**

Fuente: Elaboración propia.

Al cruzar el régimen de tenencia con la disposición a ajustar las actividades según el pronóstico, se observa que tanto los propietarios como quienes arriendan o trabajan tierras comunitarias manifiestan disposición a modificar sus labores. Resulta relevante que los productores que no son dueños de la tierra muestren una marcada disposición al cambio, dado que para ellos una pérdida representa una afectación financiera mayor.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Este capítulo comprende el sustento científico y tecnológico que fundamenta el desarrollo de la solución propuesta y articula los conceptos básicos de la ingeniería de software con las necesidades de la agrometeorología actual. Se analizan de manera analítica los paradigmas de las aplicaciones móviles y los sistemas de mensajería en tiempo real, la arquitectura lógica para la adquisición y procesamiento de datos climáticos mediante servicios web, y la integración de redes de sensores bajo el ecosistema del Internet de las Cosas (IoT).

Asimismo, se abordan los fundamentos de los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) y el contexto geográfico, histórico y social de la vulnerabilidad climática en el Corredor Seco de Guatemala, para construir el marco de referencia necesario para comprender y validar el impacto tecnológico del software en la resiliencia agrícola.

2.1 Fundamentos de las Aplicaciones y Sistemas Móviles

La computación móvil ha transformado la gestión de la información en el sector rural, al permitir que el conocimiento técnico sea accesible en el punto exacto de la parcela. Para comprender su impacto, es necesario definir la arquitectura de estas herramientas y los mecanismos de comunicación en tiempo real que permiten la respuesta ante crisis climáticas.

2.1.1 ¿Qué es una aplicación móvil?

Una aplicación móvil se define técnicamente como un programa informático diseñado específicamente para ejecutarse en dispositivos móviles, tales como teléfonos inteligentes y tabletas, que permiten al usuario realizar funciones profesionales o de ocio de manera portátil y eficiente (Futurespace, 2021).

A diferencia del software de escritorio, estas herramientas se caracterizan por su optimización para interfaces táctiles y su capacidad de operar bajo restricciones de recursos energéticos, lo que conviene en actividades que se desarrollan fuera de entornos de oficina, como la agricultura de campo (Futurespace, 2021).

Una aplicación móvil debe ser entendida como un "sensor humano" o terminal de datos. No se trata solo de un visor de información, sino de una herramienta de trabajo que acompaña al agricultor en su rutina diaria.

La portabilidad del dispositivo permite que la brecha entre la generación del dato meteorológico en un servidor central y la recepción del mismo en el campo se reduzca a segundos, lo que da tiempo para proteger el cultivo. La evolución de estas plataformas ha permitido que las aplicaciones dejen de ser estáticas para convertirse en ecosistemas dinámicos de interacción.

El diseño moderno de aplicaciones móviles se centra en la experiencia del usuario (UX) para facilitar una interacción fluida y natural, mediante controles táctiles intuitivos que responden a la ergonomía del usuario, algo necesario para personas con diversos niveles de alfabetización digital en regiones rurales. Esta capacidad de respuesta inmediata y visualización clara es lo que permite que una herramienta agrometeorológica sea realmente efectiva en la prevención de desastres agrícolas.

Un agricultor que opera bajo la luz solar intensa y con manos de trabajo requiere una interfaz que no presente distracciones. Por ello, la navegación debe ser lógica y reducida a pocos pasos para acceder a una alerta crítica; la efectividad de la tecnología se mide por la velocidad con la que el usuario puede interpretar un riesgo de helada o lluvia intensa.

2.1.2 Tipos de aplicaciones móviles (Nativas, Híbridas, Web)

La arquitectura de desarrollo de una aplicación determina su capacidad para interactuar con el equipo físico del dispositivo. Carrión Buenaño (2022) explica que las aplicaciones nativas se desarrollan para una plataforma específica, como Android o iOS, lo que permite un acceso total y directo a las funcionalidades del equipo físico, como el sistema de posicionamiento global (GPS), la cámara y los sensores internos, lo que mejora el rendimiento y la experiencia de usuario al no tener capas intermedias de traducción de código.

Una opción nativa tiene ventajas en la precisión del geoposicionamiento. Al interactuar directamente con el sistema operativo, la aplicación puede registrar la ubicación exacta del cultivo con mayor fidelidad, lo cual es indispensable para emitir alertas microclimáticas precisas.

Sin embargo, el costo de mantener bases de código separadas para distintos ecosistemas es una limitante que debe evaluarse frente a la homogeneidad de los dispositivos utilizados por los productores locales, quienes mayoritariamente utilizan terminales Android de gama media.

Por otro lado, las aplicaciones web móviles se ofrecen a través de navegadores de internet y no requieren instalación, lo que simplifica su distribución, pero limita severamente su funcionalidad al no poder acceder a características nativas críticas como las notificaciones emergentes persistentes (Futurespace, 2021; Llamuca, Vera y Tapia, 2021).

Estas aplicaciones dependen totalmente de una conectividad a internet constante, lo que representa un riesgo operativo en áreas rurales donde la señal de datos puede ser intermitente o inexistente en ciertas zonas montañosas de cultivo (Orozco Granillo, 2024).

Las aplicaciones híbridas surgen como una solución intermedia que combina tecnologías web con contenedores nativos, lo que permite una adaptación rápida a múltiples plataformas con un solo código base (Futurespace, 2021).

Aunque pueden sacrificar una fracción de rendimiento frente a las nativas en procesos de alta carga gráfica, facilitan la inclusión de funciones básicas como el acceso a sensores básicos y notificaciones del sistema, siendo la opción más costo-efectiva para proyectos que buscan un despliegue masivo en el sector agrícola (Futurespace, 2021).

La arquitectura híbrida o multiplataforma es la más conveniente. Dado que el objetivo es ampliar el acceso a la información climática, una base de código única permite actualizar las alertas para todos los usuarios simultáneamente, independientemente del modelo de teléfono inteligente que posean. Además, permite que la herramienta sea descargable desde tiendas oficiales, lo que aporta una capa de confianza y seguridad necesaria para el usuario final.

2.1.3 Sistemas operativos móviles y ecosistemas actuales

El mercado global de dispositivos móviles se rige por un duopolio tecnológico liderado por los sistemas operativos Android e iOS. MiTSoftware (2026) señala que Android se caracteriza por ser un ecosistema abierto y muy fragmentado, debido a que múltiples fabricantes desarrollan sus propias interfaces sobre la base del sistema operativo de Google, lo que permite una mayor variedad de dispositivos, pero también genera retos para los desarrolladores en términos de compatibilidad y seguridad de versiones.

En el contexto guatemalteco, Android es el sistema dominante debido a su presencia en dispositivos de bajo costo que son más accesibles para la población rural. El desarrollo del sistema de monitoreo debe priorizar la optimización para este ecosistema, de modo que la aplicación funcione correctamente incluso en versiones antiguas del sistema, porque el ciclo de renovación de dispositivos en el campo es considerablemente más lento que en las áreas urbanas, donde la tecnología se actualiza anualmente.

En contraste, el sistema iOS de Apple ofrece un entorno cerrado y muy controlado, donde la fragmentación es mínima y la seguridad del software ocupa un lugar central en su arquitectura (MiTSoftware, 2026). Aunque los usuarios de iOS en el sector agrícola representan una minoría, la arquitectura de la aplicación debe considerar estándares de diseño multiplataforma para no excluir a este segmento de productores de alto valor que podrían poseer estos terminales.

Conviene considerar que la interacción con el sistema operativo define la fiabilidad de las alertas climáticas. Un sistema operativo que gestiona eficientemente los procesos en segundo plano permitirá que la aplicación de monitoreo "despierte" el dispositivo para mostrar una alerta crítica de helada, incluso si el agricultor no ha abierto la herramienta en varias horas. Esta capacidad de vigilancia silenciosa es el valor agregado que se necesita implementar para transformar el teléfono inteligente en un escudo preventivo.

2.1.4 Notificaciones emergentes y mensajería en tiempo real

Las notificaciones emergentes representan un canal de comunicación asíncrono y directo entre un servidor de aplicaciones y el dispositivo del usuario. Seidor (2024) define este servicio como una herramienta eficaz para aumentar la interacción y la retención, porque permite enviar información relevante como alertas de emergencia o advertencias meteorológicas extremas que aparecen en la pantalla de bloqueo, de modo que el usuario las visualice de forma inmediata sin necesidad de usar la aplicación activamente en ese momento.

La notificación emergente es el núcleo de la respuesta ante el riesgo. La mensajería en tiempo real permite que la asimetría informativa se rompa de manera definitiva: en el momento en que un sensor detecta una anomalía o un modelo predictivo arroja una probabilidad alta de riesgo, el servidor dispara la señal hacia el dispositivo. Esto transforma la aplicación de una

herramienta de consulta pasiva en un sistema de defensa activo y preventivo (Chen, Li y Zhou, 2022).

2.1.5 ¿Qué es una notificación automatizada?

Una notificación automatizada es un mensaje generado por un motor de reglas lógico que se activa cuando los datos procesados por el sistema superan ciertos umbrales predefinidos, lo que elimina la necesidad de intervención humana para la emisión del aviso.

Estos sistemas analizan variables ambientales en tiempo real y disparan alertas instantáneas, lo que reduce el tiempo de recepción de información crítica de horas a segundos, lo cual ayuda a proteger los activos productivos ante eventos climáticos súbitos que requieren acción inmediata.

La automatización es el factor que diferencia a la agrometeorología digital de la meteorología convencional. Los agricultores a menudo se enteran de las condiciones climáticas a través de reportes televisivos que cubren todo el territorio nacional y pierden de vista los microclimas locales. Un sistema automatizado que procesa los datos de una API meteorológica localizada puede avisar automáticamente sobre una caída de temperatura peligrosa a cualquier hora del día, para que el productor active sistemas de protección con antelación.

2.2 Arquitectura de Sistemas de Monitoreo

La arquitectura de un sistema de monitoreo es la estructura que permite la captura, transmisión y análisis de variables ambientales de forma sistemática. Este proceso implica la integración de múltiples capas tecnológicas para convertir señales físicas en conocimientos accionables.

2.2.1 ¿Qué es monitoreo en sistemas de información?

En el ámbito de la tecnología, el monitoreo se define como el proceso continuo de observación y registro de las actividades y parámetros de un sistema con el fin de garantizar su correcto funcionamiento y detectar desviaciones o fallos en tiempo real (Herrera, 2021).

Un sistema de monitoreo confiable permite a los ingenieros enfrentar desafíos de producción inteligente mediante soluciones estandarizadas que cumplen con los requerimientos

de la industria moderna, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas basadas en evidencia técnica (Herrera, 2021).

2.2.2 Vigilancia Meteorológica y su importancia técnica

La vigilancia meteorológica es el componente técnico de los servicios climáticos que se encarga de la provisión de datos y conocimientos atmosféricos procesables para facilitar la toma de decisiones informadas. Su importancia es crítica en regiones vulnerables, porque permite cerrar la brecha entre la información técnica compleja generada por los institutos científicos y el agricultor final, quien requiere datos que sean contextualizados y directamente aplicables a su realidad local (Alianza Bioversity & CIAT, 2023).

La vigilancia técnica ha cobrado más relevancia debido a la frecuencia de fenómenos extremos como la canícula prolongada o el "Veranillo", que afectan directamente la seguridad alimentaria del país. Un sistema de vigilancia bien estructurado registra la temperatura ambiente y analiza cómo esa temperatura afectará el ciclo fenológico de los granos básicos, con recomendaciones específicas que los agricultores pueden seguir para proteger su patrimonio económico.

La vigilancia meteorológica debe transitar de un modelo de observación general a uno de precisión microclimática. Debido a la accidentada topografía de algunos lugares, las condiciones en el área urbana pueden diferir drásticamente de las de una aldea situada a mayor altitud. Por lo tanto, la vigilancia técnica debe apoyarse en la mayor cantidad de puntos de recolección posibles para reflejar con fidelidad la diversidad ambiental.

2.2.3 Tipos de monitoreo en la tecnología de información

El monitoreo tecnológico puede clasificarse según su objetivo y alcance operativo. Los sistemas modernos integran diversas capas de supervisión que incluyen el monitoreo de infraestructura, que vigila la salud de servidores y redes; el monitoreo de aplicaciones, enfocado en el rendimiento del software y la experiencia del usuario; y el monitoreo de datos, que asegura la calidad y veracidad de la información recolectada de los sensores (Herrera, 2021).

Las estaciones meteorológicas pueden emitir "ruido" o señales erráticas debido a interferencias eléctricas, desgaste de sensores o condiciones climáticas extremas. La arquitectura de la aplicación debe incluir una capa de limpieza de datos que identifique y

descarte valores atípicos (outliers) para asegurar que el modelo de alertas no se dispare por un error instrumental, lo que preserva la credibilidad del sistema ante el productor (Herrera, 2021).

Otro nivel relevante es el monitoreo ambiental distribuido. En sistemas de software distribuidos, el monitoreo debe permitir la visibilidad completa de todos los nodos terminales para garantizar la sincronización (Herrera, 2021).

2.2.4 Monitoreo meteorológico: Instrumentación y recolección de datos

La recolección de datos meteorológicos requiere instrumentación especializada capaz de medir variables como la temperatura, humedad, presión atmosférica y precipitación con un alto grado de precisión técnica.

Un sistema de alerta efectiva se nutre de redes de estaciones que reportan datos en intervalos diarios o incluso horarios, que permiten caracterizar fenómenos súbitos mediante la identificación de patrones en la amplitud térmica y la nubosidad del cielo, factores precursores de riesgos como las heladas radiativas. La instrumentación debe ser lo suficientemente robusta para soportar las condiciones adversas del campo.

La recolección de datos ya no depende únicamente de sensores analógicos tradicionales, sino de estaciones automáticas que utilizan tarjetas de programación de código abierto que facilitan la transferencia de datos mediante protocolos de internet y abaratan los costos de implementación para redes de monitoreo locales (García, 2022; Morales Sánchez de Prados, 2023).

Estas estaciones automáticas permiten una vigilancia de 24 horas sin necesidad de presencia humana constante para la toma de lecturas, y debe complementarse con técnicas de interpolación espacial. Dada la topografía variada es imposible tener un sensor físico en cada metro cuadrado de cultivo.

2.2.5 El papel de las APIs meteorológicas y el consumo de servicios web

Las Interfaces de Programación de Aplicaciones (APIs) meteorológicas permiten que los sistemas locales consuman datos de grandes centros de procesamiento global o nacional de forma estandarizada.

Mera et al. (2023) demuestran que la integración de modelos de aprendizaje automático con APIs meteorológicas en tiempo real permite mejorar la precisión de los pronósticos en zonas rurales con infraestructura instrumental restringida, como una alternativa técnica viable a las observaciones terrestres limitadas.

El consumo de servicios web bajo el modelo de transferencia de estado representacional (REST, por sus siglas en inglés) permite que la aplicación móvil sea ligera y eficiente en términos de procesamiento y consumo de batería.

En lugar de procesar pesados modelos climáticos dentro del teléfono del agricultor, la aplicación simplemente consulta los resultados ya calculados por servidores potentes a través de la API (Constante Jáuregui, 2021). Este enfoque asegura que el sistema siempre cuente con la información más reciente de proveedores oficiales, para mantener una vigilancia climática continua.

Las APIs son el motor de la interoperabilidad tecnológica necesaria para el agro guatemalteco. Para que la aplicación sea factible, debe ser capaz de "hablar" con múltiples fuentes de datos simultáneamente, desde el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) hasta satélites climáticos internacionales.

2.3 El Internet de las Cosas (IoT) aplicado a la agronomía

El Internet de las Cosas (IoT) ha cambiado la agronomía al permitir la interconexión de objetos físicos con la red global para el intercambio de datos. Esta tecnología transforma la gestión agrícola tradicional en una agricultura de precisión basada en el análisis continuo de variables edáficas y atmosféricas que dictan la salud del cultivo.

2.3.1 Sensores de campo y tecnologías de recolección de datos

Los sensores de campo son dispositivos electrónicos encargados de capturar fenómenos físicos del entorno agrícola y convertirlos en señales digitales procesables por un microcontrolador. Díaz y Sánchez (2021) identifican que las variables más recurrentes en el monitoreo agrícola son la temperatura y la humedad (tanto del ambiente como del suelo), seguidas por la luminosidad y el pH, las cuales sirven para optimizar el riego y la fertilización en cultivos controlados, lo que permite una gestión basada en evidencia científica.

Los sensores de humedad del suelo, por ejemplo, pueden detectar el "punto de marchitez" mucho antes de que la planta muestre signos visibles de estrés hídrico, y envía una alerta al teléfono inteligente del agricultor para que inicie el riego de emergencia. Esta detección temprana importa en una región donde el agua es un recurso escaso que debe gestionarse con eficiencia.

La tecnología de sensores de neutrones por rayos cósmicos es una de las técnicas más recientes del monitoreo ambiental. A diferencia de los sensores de punto que miden solo una pequeña muestra del suelo, estos dispositivos pueden monitorear la humedad en un radio de cientos de metros, lo que facilitaría la creación de modelos de alerta para sequías a nivel regional, con datos mucho más representativos para la toma de decisiones colectivas.

Díaz y Sánchez (2021) mencionan que el uso de sensores de bajo costo, integrados en plataformas como Arduino o ESP32, ha abaratado el acceso a la agricultura inteligente, al permitir que pequeños productores implementen redes de monitoreo que antes estaban reservadas únicamente para la gran industria agroexportadora.

2.3.2 Protocolos de comunicación de datos (LoRaWAN, MQTT, HTTP)

La comunicación en redes IoT agrícolas se rige por protocolos diseñados para maximizar la eficiencia energética y el alcance de la señal en entornos rurales complejos. Díaz y Sánchez (2021) explican que la arquitectura de estas redes suele dividirse en capas, donde protocolos como MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) destacan por su ligereza y eficiencia en el intercambio de mensajes entre sensores y aplicaciones de software, bajo un modelo de publicación/suscripción ideal para dispositivos con recursos computacionales limitados.

En lugares con una topografía accidentada el protocolo LoRaWAN cobra más importancia. Al ser una tecnología de red de área amplia y baja potencia, permite transmitir datos de sensores a distancias superiores a los diez kilómetros con un consumo mínimo de batería (Morales Sánchez de Prados, 2023).

Esto soluciona el problema crítico de la falta de Wi-Fi en las parcelas, porque permite que un solo nodo central recoja la información de decenas de sensores distribuidos en la montaña y la envíe a internet mediante una conexión celular centralizada.

Por otro lado, el protocolo HTTP sigue siendo el estándar indispensable para la transferencia de datos en la web y la integración con el usuario final. Aunque es más "pesado" que MQTT debido a la sobrecarga de sus cabeceras de texto, es el lenguaje universal que permite que la aplicación móvil consuma la información de los servidores de datos de forma estable y compatible con cualquier teléfono inteligente moderno (Red Hat, 2024).

Una arquitectura exitosa debe ser híbrida: usar protocolos ligeros para el campo y protocolos robustos para la interacción con el agricultor. La robustez de la comunicación es el eslabón más crítico en el diseño del sistema. Una alerta de helada que se pierde por un fallo en el protocolo de transmisión es una alerta inútil.

2.3.3 Seguridad y privacidad de los datos en redes IoT

La digitalización del sector agrícola introduce vulnerabilidades específicas relacionadas con la integridad y la confidencialidad de la información productiva. La falta de estandarización en dispositivos IoT y las conexiones inseguras en zonas rurales exponen al sector a ciberataques como el ransomware, el sabotaje de sistemas de control de riego o el espionaje industrial sobre patentes genéticas y rendimientos de cosecha, lo que podría comprometer la competitividad del productor.

La seguridad de la información debe abordarse desde el diseño inicial del software (Sardanyés, 2026). Esto implica que cada sensor de campo debe contar con mecanismos de autenticación para que terceros no puedan inyectar datos falsos que disparen alertas inexistentes y causen pánico o pérdidas económicas por acciones preventivas innecesarias.

Asimismo, los datos personales de los agricultores deben estar protegidos bajo un marco de privacidad que garantice que su ubicación y rendimientos no sean utilizados de forma malintencionada (AlfaIOT, 2024; Digi, 2024).

La privacidad es también una cuestión de confianza social en el área rural. Si los agricultores perciben que su información de producción es pública o accesible para competidores, podrían ser reacios a adoptar la tecnología móvil (Rivera, 2024).

2.3.4 Teorías de resiliencia agrícola y toma de decisiones basada en datos

La resiliencia agrícola se fundamenta en la capacidad de los agroecosistemas para adaptarse y recuperarse frente a perturbaciones ambientales y socioeconómicas imprevistas

(Monterroso, 2024). Hernández (2022) sostiene que un enfoque basado en datos es la base de esta resiliencia, porque permite que los agricultores tomen decisiones informadas que reduzcan la dependencia de insumos externos y mejoren la conservación de los recursos naturales ante la creciente variabilidad del clima global.

La toma de decisiones basada en datos es el motor que transforma al agricultor de un espectador pasivo en un gestor activo de su propio riesgo. Al contar con información precisa sobre el microclima local, los productores pueden seleccionar variedades de cultivos más adaptadas a la sequía o ajustar sus calendarios de siembra para evitar los picos de calor extremo.

Las investigaciones demuestran que el acceso a servicios de información climática mejora sustancialmente la capacidad de planeación y reduce la incertidumbre financiera (Alianza Bioversity & CIAT, 2023; FIDA, 2021).

2.4 Alertas y Riesgos Climáticos

La gestión del riesgo climático requiere una comprensión profunda de las amenazas atmosféricas y de los mecanismos lógicos necesarios para alertar a la población afectada. En la agronomía en general, una alerta oportuna es a menudo la única forma de proteger la cosecha ante eventos extremos inevitables.

2.4.1 ¿Qué es una alerta y su arquitectura lógica?

Una alerta es un estado de vigilancia y aviso especial que se establece ante la sospecha de una amenaza latente o inminente, para permitir la activación de mecanismos de respuesta para mitigar consecuencias negativas. La arquitectura lógica de un sistema de alertas debe basarse en una organización que procese marcos de información y decisión, que transforme los datos técnicos complejos de las entidades científicas en avisos que sean comprensibles y geolocalizados para la comunidad local.

La arquitectura lógica es como el "cerebro" del sistema de monitoreo. Para que sea efectiva esta lógica debe ser multidimensional: debe cruzar los datos del clima con el estado real del cultivo. Por ejemplo, una lluvia de cierta intensidad puede ser beneficiosa en la etapa de crecimiento del maíz, pero catastrófica durante la fase de maduración o cosecha. Por tanto, la inteligencia del sistema radica en su capacidad de "entender" el contexto agrícola para calificar correctamente la gravedad del evento detectado.

La transparencia en los criterios de activación ayuda a ganar la confianza del usuario. El agricultor necesita saber que hay un riesgo y qué variable lo activó (por ejemplo, un descenso brusco de la humedad relativa). Esta claridad técnica fomenta una cultura de prevención basada en el entendimiento de los procesos atmosféricos, que aleja al productor de la dependencia exclusiva en la observación empírica tradicional que a menudo llega tarde ante el cambio climático acelerado.

2.4.2 Tipos de alertas (Informativas, Preventivas, Críticas)

La clasificación de las alertas permite a los usuarios priorizar sus acciones de respuesta según la inminencia y severidad del riesgo detectado en el ambiente. **Una tipología común divide** los avisos en tres categorías principales: alertas informativas, que proporcionan datos contextuales sobre el clima diario.

Alertas preventivas, que se activan ante umbrales de riesgo moderado para sugerir medidas de mitigación tempranas; y alertas críticas, que indican una amenaza inminente que exige respuesta inmediata para proteger los cultivos.

En la aplicación móvil, esta jerarquía evita la saturación informativa. Las alertas informativas pueden presentarse como boletines de tendencia semanal, mientras que las alertas críticas deben disparar notificaciones emergentes con señales visuales de alto impacto. El uso de una simbología de colores universalmente reconocida (verde, amarillo y rojo) facilita que el agricultor comprenda la situación con un solo vistazo a la pantalla de su teléfono, incluso mientras realiza labores pesadas en el campo.

2.4.3 Riesgos climáticos: Definición y categorización

El riesgo climático se define como la combinación de la probabilidad de que ocurra un evento meteorológico extremo y la vulnerabilidad del sistema o cultivo afectado. Estos riesgos se categorizan según su escala temporal y el tipo de fenómeno, y destacan las amenazas de aparición súbita, como las inundaciones relámpago o las heladas nocturnas, y las de evolución lenta, como las sequías recurrentes vinculadas a patrones oceánicos globales (Cardona & Mendoza, 2023).

Los riesgos de evolución lenta, como la sequía severa asociada a periodos prolongados sin lluvia, comprometen los cultivos de forma gradual, mientras que los de aparición súbita,

como las lluvias torrenciales originadas por sistemas tropicales, provocan erosión y pérdidas inmediatas en los terrenos de ladera.

Categorizar estas amenazas de forma técnica permite desarrollar modelos predictivos específicos para cada una, lo que mejora la robustez y la capacidad de anticipación de un sistema de monitoreo. Uno de los riesgos más críticos y menos monitoreados es la variabilidad en el inicio de la época lluviosa, porque un desfase de pocas semanas altera por completo el calendario de siembra y expone a los cultivos en sus etapas más sensibles.

2.4.4 Riesgos en la producción agrícola

La producción agrícola es una de las actividades económicas más expuestas a los caprichos del clima y la variabilidad atmosférica. Gutiérrez (2021) explica que los riesgos climáticos impactan directamente en los rendimientos y en la seguridad alimentaria, lo que causa fluctuaciones violentas en los precios de los alimentos en los mercados regionales. Estas afectaciones reducen la oferta de comida para la población urbana y ponen en grave riesgo la solvencia financiera de los agricultores que dependen de créditos bancarios para producir.

2.4.5 Alertas de riesgos climáticos aplicadas a la agronomía

La aplicación de alertas en el ámbito de la agronomía busca traducir los datos atmosféricos crudos en recomendaciones prácticas de manejo del cultivo. Arista Cortes et al. (2023) proponen el uso de herramientas digitales que utilicen Sistemas de Información Geográfica (SIG) para predecir zonas críticas donde la intensidad de la temperatura y la escasez de agua tienen mayor incidencia, para que los agricultores planifiquen sus siembras con anticipación mediante mapas de vulnerabilidad específicos para cada terreno (Esri, 2024).

Si el sistema predice un riesgo alto de helada, la notificación debe informar el fenómeno e incluir una recomendación agronómica inmediata, como "aplicar riego de defensa" o "cubrir los semilleros con mantas térmicas". Esta vinculación directa entre la alerta técnica y la acción práctica es lo que otorga el valor real a la aplicación móvil, convirtiéndola en un asesor técnico digital siempre disponible.

La personalización de estas alertas según la fenología del cultivo es el siguiente paso hacia la agricultura 4.0 en Guatemala. Olazabal Chávez (2022) señala que los sistemas de alertas

han evolucionado hacia modelos que consideran las etapas críticas de la planta, como la floración o el llenado de grano.

2.4.6 Sistemas de Alerta Temprana (SAT): Estructura y componentes

Un Sistema de Alerta Temprana (SAT) es una medida integral de adaptación al cambio climático que ha demostrado salvar vidas y medios de subsistencia mediante la provisión oportuna de información precisa (ONU-SPIDER, 2021). Cardona & Mendoza (2023) identifican cuatro componentes que deben operar de forma coordinada: el conocimiento del riesgo local, el servicio de seguimiento y alerta (monitoreo), la difusión y comunicación masiva de avisos, y la capacidad de respuesta de la comunidad ante la amenaza detectada.

En el contexto guatemalteco, el SAT nacional lo coordina la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) y el INSIVUMEH, pero a menudo enfrenta dificultades logísticas para llegar a la "última milla" de la población rural (CONRED, 2023; SUN Movement, 2022).

Se necesita un intermediario que actué como un puente final de difusión, para asegurar que la alerta técnica generada a nivel institucional se traduzca en una advertencia personalizada que llegue directamente al teléfono inteligente del agricultor en el momento exacto en que se detecta la amenaza.

El componente más crítico de un SAT moderno es la educación y concienciación del usuario. De nada sirve contar con la mejor tecnología de sensores y algoritmos de predicción si no se comprende el significado de la alerta o no sabe qué acciones tomar para proteger su inversión.

2.4.7 Umbrales agrometeorológicos

Un umbral agrometeorológico es el valor de una variable del tiempo a partir del cual un cultivo deja de desarrollarse con normalidad y comienza a sufrir daño. Estos valores no son universales, porque dependen de la especie, de la etapa fenológica en que se encuentra la planta y de la duración del evento. Por esa razón, un sistema de alerta debe evaluarlos por cultivo y no con un criterio único para todo el territorio.

En el caso del café, Moraga (2024) establece que la temperatura adecuada para el cultivo oscila entre 15 °C y 30 °C. Por debajo de ese rango se retrasa el crecimiento de las plantas y

aumenta el daño por enfermedades, mientras que por encima se produce deshidratación y disminuye la eficiencia fotosintética.

El mismo autor señala que una humedad relativa superior al 85 % favorece las enfermedades causadas por hongos y bacterias, y que los vientos mayores de 15 km/h provocan daños mecánicos en la plantación, en tanto que por encima de 30 km/h afectan directamente a las plantas, sus ramas y sus hojas.

Para el maíz, Fuentes López (2002) indica que la planta entra en estrés cuando la temperatura supera los 35 °C, sobre todo durante la fase reproductiva, lo que reduce la fotosíntesis, el número de óvulos y la viabilidad del polen.

El periodo más sensible a la falta de agua comprende desde siete días antes hasta quince días después del inicio de la floración, y en esa ventana la reducción del rendimiento puede ser dos o tres veces mayor que en otras fases del cultivo. El mismo documento ubica a Jalapa dentro de la zona maicera con humedad limitada, caracterizada por sequías recurrentes durante el ciclo de siembra.

En el frijol, González (2021) reporta una temperatura mínima de 18 °C, una máxima de 28 °C y un rango óptimo entre 20 °C y 25 °C. También señala que las etapas de floración y llenado de vainas son las que más agua demandan y, por lo tanto, las más afectadas por su déficit. Agrega que las temperaturas entre 25 °C y 32 °C acompañadas de lluvias frecuentes favorecen enfermedades como la mustia hilachosa y la bacteriosis.

Respecto a los extremos térmicos, Bardales Espinoza, Castañón y Herrera Herrera (2019) definen la helada meteorológica como una temperatura igual o menor a 0 °C, aunque aclaran que el daño en los seres vivos puede presentarse sin llegar a ese valor.

En Guatemala las heladas ocurren a partir de los 1,700 msnm y con mayor probabilidad entre noviembre y marzo. Los mismos autores describen la ola de calor como el episodio en que la temperatura máxima diaria supera su percentil 90 durante al menos tres días consecutivos, y la identifican como un evento recurrente en Jalapa entre marzo y mayo.

La intensidad de la lluvia se clasifica según la cantidad acumulada en una hora. Con base en la escala de la Agencia Estatal de Meteorología de España, Monjo (2010) describe como

fuerte la lluvia de 15 a 30 mm por hora y como muy fuerte la que va de 30 a 60 mm por hora, por encima de la cual se considera torrencial.

Para la sequía, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (s.f.) clasifica la sequía meteorológica según el número de días secos consecutivos durante la época lluviosa: débil de 5 a 10 días, moderada de 11 a 15 días y fuerte cuando supera los 15 días.

Este criterio resulta pertinente para Jalapa, que comparte con ese país las condiciones del Corredor Seco centroamericano. Para contar dichos días, el índice de días secos consecutivos propuesto por el grupo de expertos en índices de cambio climático considera como seco todo día con precipitación menor a 1 mm (Zhang et al., 2011).

Estos criterios se integran con la tipología de alertas descrita en el apartado 2.4.2. Una condición que se acerca al límite del cultivo corresponde a una alerta informativa, una que lo supera corresponde a una alerta preventiva, y una que lo supera de forma severa, persistente o durante una etapa sensible corresponde a una alerta crítica. La Tabla 26 resume los criterios de referencia por variable.

Tabla 26. *Criterios agrometeorológicos de referencia.*

Variable	Cultivo	Criterio de referencia	Fuente
Temperatura	Café	Rango adecuado de 15 °C a 30 °C	Moraga (2024)
Temperatura	Maíz	Estrés por encima de 35 °C, mayor en la fase reproductiva	Fuentes López (2002)
Temperatura	Frijol	Mínima de 18 °C, máxima de 28 °C y óptimo de 20 °C a 25 °C	González (2021)
Temperatura mínima	Todos	Helada con 0 °C o menos	Bardales Espinoza et al. (2019)
Temperatura máxima	Todos	Ola de calor: máxima elevada durante tres días consecutivos o más	Bardales Espinoza et al. (2019)

Variable	Cultivo	Criterio de referencia	Fuente
Humedad relativa	Café	Más de 85 % favorece enfermedades por hongos y bacterias	Moraga (2024)
Viento	Café	Daño mecánico sobre 15 km/h; daño a plantas, ramas y hojas sobre 30 km/h	Moraga (2024)
Lluvia	Todos	Fuerte de 15 a 30 mm/h; muy fuerte de 30 a 60 mm/h	Monjo (2010)
Sequía	Todos	Débil de 5 a 10, moderada de 11 a 15 y fuerte con más de 15 días secos consecutivos	MARN de El Salvador (s.f.)
Día seco	Todos	Precipitación diaria menor a 1 mm	Zhang et al. (2011)
Periodo crítico por déficit hídrico	Maíz	De 7 días antes a 15 días después del inicio de la floración	Fuentes López (2002)
Periodo crítico por déficit hídrico	Frijol	Floración y llenado de vainas	González (2021)

Fuente: Elaboración propia con base en las fuentes citadas.

2.5 Contexto Geográfico y Agrícola

La efectividad de un sistema tecnológico está intrínsecamente ligada al territorio donde se despliega. Guatemala posee una complejidad geográfica única que exige soluciones localizadas, especialmente en el departamento de Jalapa, que se sitúa en una zona de alta transición climática y vulnerabilidad social que define los desafíos del proyecto.

2.5.1 Caracterización general de la República de Guatemala

Guatemala es un país de geografía extensa y diversa situado en el corazón del istmo centroamericano, marcado por una multiculturalidad donde coexisten 17.4 millones de habitantes que enfrentan desafíos estructurales de pobreza y desigualdad (SEGEPLAN, 2022).

Su ubicación geográfica lo posiciona como uno de los diez países más vulnerables ante el cambio climático a nivel mundial, con una economía que depende fuertemente del sector agropecuario, el cual sufre pérdidas periódicas debido a sequías e inundaciones que se han vuelto más intensas en la última década (CGIAR, 2022).

En los últimos años, el país ha avanzado en la formulación de un Marco Nacional de Servicios Climáticos para coordinar a los proveedores de información con los usuarios finales del sector productivo.

Sin embargo, persiste una brecha tecnológica importante en la tecnificación del campo; aunque existe la visión institucional de una agricultura digital, la implementación real de sensores y alertas tempranas aún es incipiente en la mayoría de los departamentos, lo que deja al pequeño productor en una situación de indefensión ante la variabilidad atmosférica extrema (CGIAR, 2022).

La vulnerabilidad de Guatemala es el resultado de una histórica desconexión entre la ciencia climática y la práctica agrícola familiar. Mientras que la agroindustria de exportación cuenta con sistemas propios de monitoreo, el agricultor que produce los alimentos básicos de la dieta nacional depende de la tradición empírica.

2.5.2 El departamento como unidad administrativa en Guatemala

La administración territorial de Guatemala se organiza en departamentos, los cuales funcionan como niveles de planificación para la gestión del desarrollo regional y la descentralización de los servicios públicos (SEGEPLAN, 2022).

Jalapa, como parte de la región suroriental del país, posee una estructura administrativa que requiere una coordinación estrecha entre las autoridades locales y los Consejos de Desarrollo para garantizar la sostenibilidad y adopción de cualquier proyecto de innovación tecnológica que se pretenda implementar en su territorio.

2.5.3 Agricultura y producción agrícola en el departamento de Jalapa

La agricultura es la principal actividad económica de Jalapa, en especial la producción intensiva de maíz blanco, frijol, tomate, cebolla, papa y diversos frutales que abastecen tanto el consumo local como los mercados de la Ciudad de Guatemala. El departamento cuenta con una topografía quebrada donde predomina el cultivo en terrenos de ladera, a menudo realizado sin

prácticas adecuadas de conservación de suelo, lo que aumenta la vulnerabilidad de las cosechas ante lluvias intensas o sequías prolongadas que degradan la capa fértil (MAGA, 2023).

Es alarmante observar la profunda desigualdad en la tenencia de tierra en Jalapa, lo que obliga a muchos productores a arrendar parcelas en zonas de mayor riesgo climático o ambiental (Marroquín Najarro, 2024). Esta condición socioeconómica intensifica la necesidad de la aplicación: para un agricultor que arrienda su tierra, la pérdida de una cosecha se convierte en una deuda difícil de pagar que compromete su sustento futuro. La tecnología debe actuar como un seguro de información para estos grupos vulnerables.

Generalmente se observa que la vocación hortícola de municipios como Monjas o San Manuel Chaparrón tiene potencial de desarrollo si se cuenta con tecnología de precisión. Estos cultivos de alto valor exigen un manejo del agua y de la temperatura muy estricto; una alerta temprana de helada o una sequía imprevista puede ser la diferencia entre la rentabilidad y la quiebra total del pequeño horticultor.

2.5.4 Retrospectiva de la Agrometeorología en Guatemala

La agrometeorología en Guatemala ha evolucionado desde observaciones manuales rudimentarias hacia un sistema de boletines agrometeorológicos semanales emitidos por el Ministerio de Agricultura que informan sobre la humedad del suelo y los riesgos de plagas termo-dependientes a nivel regional.

A pesar de estos esfuerzos institucionales notables, el seguimiento se realiza a menudo a una escala departamental generalizada, que ignora las variaciones críticas que ocurren entre los valles y las montañas en departamentos con topografía compleja (MAGA, 2025).

Recientemente, el país ha comenzado a integrar el "Enfoque Centrado en el Humano" en sus servicios climáticos, al reconocer que los agricultores necesitan información que puedan usar, en lugar de datos técnicos o estadísticas generales (Alianza Bioversity & CIAT, 2023).

Esta retrospectiva histórica muestra que Guatemala está finalmente lista para dar el salto hacia las aplicaciones móviles; existe ya la infraestructura de datos básica, pero falta el canal digital moderno que conecte esa inteligencia con el teléfono inteligente del agricultor de forma personalizada y en tiempo real.

La agrometeorología guatemalteca ha sido históricamente "reactiva": se evalúan los daños después del evento. Al utilizar sensores IoT y modelos de alerta temprana, se busca que el agricultor de Jalapa deje de contar sus pérdidas después de una sequía y comience a contar con herramientas que le permitan evitarlas y transforme la tradición de observación en una ciencia de decisión digital.

2.5.5 Desafíos históricos de la agricultura en el Corredor Seco y Jalapa

El departamento de Jalapa forma parte del Corredor Seco Centroamericano, una región ecológica caracterizada por sufrir desastres climáticos de evolución lenta, principalmente sequías severas vinculadas al fenómeno de El Niño que afectan periódicamente a miles de familias rurales. Históricamente, los agricultores de esta zona han enfrentado pérdidas masivas de granos básicos, con déficits financieros superiores a los cien millones de dólares a nivel nacional en años críticos, lo que ha impulsado la migración rural forzada (FAO, 2021).

El mayor desafío histórico es la baja resiliencia de los medios de vida rurales, los cuales dependen exclusivamente de un régimen de lluvias que se ha vuelto errático e impredecible debido al calentamiento global.

La falta de acceso histórico a tecnologías de riego y a información climática localizada ha impedido que el agricultor jalapaneco pueda anticiparse a las canículas prolongadas que diezman sus cultivos. Fortalecer la resiliencia en el Corredor Seco exige una transformación digital profunda que proporcione herramientas de vigilancia microclimática constantes para la población (FAO, 2021; MARN, 2022).

CAPÍTULO III

HERRAMIENTAS Y LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

El presente capítulo describe el conjunto de lenguajes de programación y herramientas informáticas que conforman la base tecnológica empleada para el desarrollo de aplicaciones móviles modernas.

Se exponen, de manera teórica y conceptual, los lenguajes de programación, los marcos de trabajo y entornos de desarrollo, los sistemas de control de versiones y los sistemas operativos, así como los servicios en la nube, los sistemas de gestión de datos, los servicios web, las herramientas de diseño y modelado y las metodologías de desarrollo. Para cada tecnología se definen sus conceptos, características y funciones principales, con el fin de ofrecer un marco de referencia técnico.

3.1 Lenguajes de programación

Un lenguaje de programación es una herramienta que permite diseñar y crear programas mediante instrucciones organizadas según una lógica precisa, y actúa como un puente de comunicación entre el ser humano y la máquina.

3.1.1 Dart

Dart es un lenguaje de programación orientado a objetos creado por Google, optimizado para la creación de interfaces de usuario y capaz de compilar para diferentes arquitecturas, entre ellas dispositivos móviles, equipos de escritorio y la web (EDteam, 2022).

Una de sus características distintivas es la posibilidad de emplear dos tipos de compilación: la anticipada, que traduce toda la aplicación antes de ejecutarla, y la que se realiza en el momento de la ejecución, que agiliza el desarrollo al permitir observar los cambios de forma casi inmediata. Su sintaxis, inspirada en lenguajes como Java y C#, resulta familiar para quienes provienen de la programación orientada a objetos, lo que facilita su aprendizaje.

Dart admite características modernas como la programación asíncrona, que permite ejecutar tareas que requieren espera, como la consulta de datos en una red, sin bloquear la interfaz, y un sistema de tipos que ayuda a detectar errores durante la escritura del código. Estas cualidades lo hacen idóneo para construir aplicaciones fluidas y de respuesta rápida.

3.1.2 JavaScript

JavaScript es un lenguaje de programación, también conocido como lenguaje de secuencias de comandos, que permite implementar funciones complejas e interactivas, como la actualización de contenido, los mapas interactivos y las animaciones (Mozilla, 2026). Junto con el Lenguaje de Marcas de Hipertexto (HTML) y las Hojas de Estilo en Cascada (CSS), es una de las tecnologías básicas de la web.

Aunque originalmente se concibió para ejecutarse en el navegador, en la actualidad también se utiliza del lado del servidor mediante entornos de ejecución como Node.js, así como en aplicaciones de escritorio y móviles. En el contexto de los servicios en la nube, es el lenguaje sobre el que se construyen numerosas funciones y servicios complementarios, lo que explica su relevancia dentro del ecosistema de desarrollo.

Como lenguaje interpretado, JavaScript no requiere una compilación previa, sino que se ejecuta directamente en su entorno, y se apoya en una extensa colección de bibliotecas y marcos de trabajo. Esta amplitud de uso lo ha convertido en uno de los lenguajes más populares y demandados en la industria del software.

3.1.3 SQL

El Lenguaje de Consulta Estructurado (SQL, por sus siglas en inglés Structured Query Language) es un lenguaje estandarizado que permite definir, manipular y consultar la información almacenada en bases de datos relacionales con pocas líneas de instrucciones (IBM, 2025).

Mediante SQL es posible realizar operaciones como insertar, consultar, actualizar y eliminar registros, así como crear y modificar la estructura de las tablas. Su carácter estandarizado garantiza la compatibilidad entre distintos sistemas de gestión de bases de datos, por lo que constituye un conocimiento transversal en el desarrollo de software, incluso cuando se emplean motores de bases de datos ligeros en los dispositivos.

El lenguaje se organiza en distintos tipos de instrucciones, entre ellas las de definición de datos, que crean y modifican la estructura de las tablas, y las de manipulación de datos, que consultan y modifican los registros. Su cercanía al lenguaje natural facilita su lectura y comprensión, lo que ha contribuido a su adopción generalizada.

3.2 Marcos de trabajo y herramientas de desarrollo

Los marcos de trabajo y las herramientas asociadas proporcionan estructuras y utilidades de código reutilizable que aceleran la construcción de las aplicaciones (Gómez, 2023). En esta sección se describen los empleados en el desarrollo con Flutter.

3.2.1 Flutter

Flutter es una plataforma de desarrollo de código abierto creada por Google que permite construir aplicaciones para dispositivos móviles, de escritorio y web a partir de una única base de código, con el lenguaje Dart (Piensa Solutions, 2025).

Entre sus características más relevantes destaca el uso de un motor gráfico propio que renderiza los elementos visuales y ofrece un aspecto consistente en todas las plataformas; en Flutter, prácticamente todos los elementos de la interfaz, como los botones, los textos y las imágenes, se construyen mediante componentes visuales reutilizables.

Otra ventaja es la función de recarga en caliente, que permite visualizar de forma instantánea los cambios en el código sin reiniciar la aplicación, lo que aumenta la productividad. Gracias a su rendimiento y a su enfoque en la experiencia de usuario, Flutter se ha consolidado como uno de los marcos de desarrollo móvil multiplataforma de mayor crecimiento (MiTSoftware, 2026).

Su arquitectura se organiza en capas y se apoya en un amplio catálogo de componentes listos para usar, lo que permite mantener una única base de código para distintas plataformas. Además, cuenta con una comunidad activa que aporta paquetes, complementos y documentación, lo que reduce el tiempo necesario para incorporar funciones de uso común.

3.2.2 Dart DevTools

Dart DevTools es un conjunto de herramientas de depuración y análisis de rendimiento para aplicaciones escritas en Dart y Flutter, que se ejecuta desde el navegador y se integra con los entornos de desarrollo (Flutter, 2026).

Entre sus utilidades se incluyen la inspección de la estructura de la interfaz, el análisis del uso de memoria, la medición del rendimiento y la visualización de registros de la aplicación.

Estas funciones permiten al desarrollador identificar y corregir problemas, así como optimizar el comportamiento de la aplicación durante su construcción.

Al integrarse con los entornos de desarrollo, estas herramientas se utilizan de forma cómoda mientras se programa, sin necesidad de instalaciones adicionales complejas. Su uso favorece la calidad del producto final, pues facilita comprender cómo se comporta la aplicación internamente y dónde se originan los posibles fallos.

3.2.3 Pub.dev

Pub.dev es el repositorio oficial de paquetes para los lenguajes Dart y Flutter, desde el cual los desarrolladores pueden publicar y obtener bibliotecas reutilizables que añaden funcionalidades a sus proyectos (Flutter, 2026).

Un paquete agrupa código ya elaborado que resuelve tareas concretas, lo que evita reescribir soluciones a problemas comunes y acelera el desarrollo. La gestión de estas dependencias se realiza mediante un archivo de configuración del proyecto, en el que se declaran los paquetes necesarios y sus versiones, de modo que la herramienta los descarga e incorpora automáticamente.

El repositorio muestra, para cada paquete, información sobre su popularidad, su mantenimiento y su compatibilidad, lo que ayuda al desarrollador a elegir las dependencias más adecuadas. Así se fomenta la reutilización de código probado por la comunidad y se evita resolver desde cero problemas ya solucionados.

3.2.4 Material Design

Material Design es un sistema de diseño desarrollado por Google que reúne directrices, componentes y herramientas para crear interfaces digitales coherentes y atractivas en distintas plataformas y dispositivos (Google, 2025).

Este sistema define principios sobre el uso del color, la tipografía, el espaciado, el movimiento y los componentes de la interfaz, con el objetivo de ofrecer una experiencia visual uniforme y accesible. Flutter incorpora de forma nativa un conjunto de componentes visuales que implementan estas directrices, lo que facilita la construcción de interfaces que siguen este estándar.

La adopción de un sistema de diseño aporta coherencia visual y reduce las decisiones arbitrarias durante el desarrollo de la interfaz, pues ofrece patrones ya validados en cuanto a usabilidad. Esto repercute en una experiencia más intuitiva y familiar para el usuario, al reconocer elementos y comportamientos comunes.

3.3 Entornos de desarrollo (IDE) y editores

Un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, por sus siglas en inglés Integrated Development Environment) es una aplicación que reúne en un solo lugar las herramientas necesarias para escribir, probar y depurar el código.

3.3.1 Android Studio

Android Studio es el entorno de desarrollo integrado oficial creado por Google para la construcción de aplicaciones destinadas al sistema operativo Android; se trata de una herramienta gratuita y de código abierto, basada en IntelliJ IDEA (Área F5, 2023).

Proporciona un editor de código avanzado, un emulador de dispositivos que permite probar las aplicaciones sin necesidad de un equipo físico, herramientas de depuración y un sistema de compilación. Su integración con los servicios y conjuntos de herramientas de desarrollo de Android y con Flutter lo convierte en un entorno completo para el desarrollo móvil.

Android Studio incluye, además, asistentes para la creación de proyectos, análisis de código que advierte sobre posibles errores y herramientas para inspeccionar el rendimiento de la aplicación. Al concentrar todas estas utilidades en una sola interfaz, agiliza el flujo de trabajo y reduce la necesidad de alternar entre programas distintos.

3.3.2 Visual Studio Code

Visual Studio Code es un editor de código gratuito, de código abierto y multiplataforma, desarrollado por Microsoft, que por su depurador integrado y sus prestaciones suele considerarse un entorno de desarrollo ligero (Arsys, 2024).

Se distingue por su rapidez y por su capacidad de adaptarse a prácticamente cualquier lenguaje de programación mediante extensiones, incluida la compatibilidad con Dart y Flutter. Incluye funciones como el resaltado de sintaxis, el autocompletado inteligente y la depuración paso a paso, lo que ha favorecido su amplia adopción entre los desarrolladores.

Su naturaleza ligera permite que se ejecute con rapidez incluso en equipos modestos, mientras que su amplio catálogo de extensiones lo hace muy configurable según las necesidades de cada proyecto. Esta combinación de sencillez y flexibilidad explica que sea uno de los editores de código más utilizados en la actualidad.

3.3.3 Android SDK

El Conjunto de Herramientas de Desarrollo de Software de Android (SDK, por sus siglas en inglés Software Development Kit) es el conjunto de herramientas, bibliotecas y utilidades que permite a los programadores crear, compilar y probar aplicaciones para el sistema operativo Android (Android Developers, 2026).

Incluye, entre otros componentes, las bibliotecas de la plataforma, un depurador, un emulador y las herramientas de compilación. En el desarrollo con Flutter, el conjunto de herramientas de Android es necesario para generar la versión final de la aplicación destinada a este sistema operativo, por lo que se integra dentro del entorno de desarrollo.

El conjunto de herramientas se actualiza periódicamente para dar soporte a las nuevas versiones del sistema operativo y a las funcionalidades que estas incorporan. Su correcta configuración es un requisito previo para compilar y ejecutar aplicaciones, porque proporciona los componentes que traducen el código a un formato que el dispositivo puede entender.

3.4 Control de versiones

Un sistema de control de versiones registra los cambios realizados sobre un conjunto de archivos a lo largo del tiempo, de modo que sea posible recuperar versiones anteriores y coordinar el trabajo de varios desarrolladores.

3.4.1 Git

Git es un Sistema de Control de Versiones Distribuido (DVCS, por sus siglas en inglés Distributed Version Control System), lo que significa que cada copia local del proyecto constituye un repositorio completo con todo su historial de cambios (Microsoft Learn, 2024).

Gracias a su naturaleza distribuida, Git facilita el trabajo sin conexión y la colaboración, pues permite registrar quién realizó cada cambio, crear ramas para desarrollar funcionalidades

en paralelo y fusionarlas posteriormente de manera ordenada. Su eficiencia lo ha convertido en el estándar mundial para el control de versiones.

El flujo de trabajo habitual contempla la confirmación de cambios, que guarda una nueva versión del proyecto con una descripción asociada, y la posibilidad de regresar a estados anteriores cuando es necesario. Esta trazabilidad resulta especialmente valiosa para localizar el origen de un error o para experimentar sin comprometer la versión principal.

3.4.2 GitHub

GitHub es una plataforma basada en la web que permite almacenar y compartir el código fuente controlado con Git, y es una de las más utilizadas para la colaboración y el versionado del software (IONOS, 2022).

Además del alojamiento de repositorios, ofrece funciones para el desarrollo colaborativo, como la revisión de cambios mediante solicitudes de incorporación, el seguimiento de incidencias y la integración con otras herramientas. Es especialmente popular en los proyectos de código abierto y sirve también como portafolio profesional para los desarrolladores.

La plataforma incorpora, asimismo, funciones de automatización que permiten ejecutar pruebas o desplegar la aplicación de manera automática ante determinados eventos. Estas capacidades favorecen la colaboración ordenada y la integración continua del trabajo de los distintos miembros del equipo.

3.4.3 GitHub Actions

GitHub Actions es la plataforma de integración y entrega continuas de GitHub, que permite automatizar la compilación, las pruebas y el despliegue del código mediante flujos de trabajo que se guardan como archivos de configuración dentro del propio repositorio (GitHub, 2026).

Cada flujo de trabajo se ejecuta en una máquina virtual que la plataforma prepara en el momento, y puede iniciarse por un evento del repositorio, de forma manual o según un horario definido. Esta última opción permite usarla como un programador de tareas en la nube, capaz de ejecutar un proceso cada cierto número de horas sin mantener un servidor propio.

Los datos sensibles, como las claves de acceso a servicios externos, se guardan como secretos cifrados del repositorio, de modo que el flujo de trabajo los usa durante la ejecución sin que queden escritos en los archivos publicados. La plataforma ofrece además un uso gratuito con límites que dependen del tipo de repositorio.

3.5 Sistemas operativos

Un sistema operativo es el software que gestiona los recursos de un equipo y sirve de intermediario entre el equipo físico y las aplicaciones. En esta sección se describen el sistema empleado como entorno de desarrollo y el sistema de destino de la aplicación.

3.5.1 Linux

Linux es un sistema operativo de código abierto basado en el núcleo, o kernel, desarrollado por Linus Torvalds en 1991, cuyo código fuente está disponible libremente para que cualquiera pueda inspeccionarlo, modificarlo y distribuirlo (SEAS, 2025).

Se caracteriza por su estabilidad, seguridad y flexibilidad, y se distribuye en múltiples variantes, conocidas como distribuciones, adaptadas a distintas necesidades. Es ampliamente utilizado en servidores, equipos de escritorio y entornos de desarrollo, lo que lo convierte en una alternativa sólida y gratuita para la programación.

Su modelo de permisos y su arquitectura contribuyen a una elevada seguridad y estabilidad, razón por la cual numerosos servidores que deben permanecer siempre operativos lo emplean como base. Para el desarrollo de software, ofrece además potentes herramientas de línea de comandos y una amplia disponibilidad de lenguajes y utilidades.

3.5.2 Android

Android es un sistema operativo móvil desarrollado por Google y basado en el núcleo de Linux, diseñado principalmente para teléfonos inteligentes y tabletas con pantalla táctil, y es el sistema operativo móvil más utilizado del mundo (Alegsa, 2025).

Permite controlar el dispositivo mediante gestos y toques en la pantalla, ofrece una tienda oficial de aplicaciones y destaca por su alto nivel de personalización. Al tratarse de la plataforma de destino de numerosas aplicaciones móviles, su conocimiento es necesario para el desarrollo dirigido a este tipo de dispositivos.

Android proporciona a los desarrolladores las interfaces necesarias para acceder a las funciones del dispositivo, como la ubicación, la cámara o las notificaciones, de una manera estandarizada. Su amplia cuota de mercado implica que una aplicación dirigida a este sistema puede alcanzar a una gran cantidad de usuarios.

3.6 Servicios en la nube

Los servicios en la nube permiten acceder a recursos informáticos a través de Internet sin necesidad de administrar una infraestructura física propia. El proveedor se encarga de los servidores, su mantenimiento y su disponibilidad, mientras que quien desarrolla solo consume los recursos que necesita y paga según su uso (Google Cloud, 2024).

3.6.1 Computación en la nube

La computación en la nube es el acceso, bajo demanda y a través de Internet, a recursos informáticos como servidores, almacenamiento, bases de datos, redes y software, sin que el usuario deba adquirir ni mantener una infraestructura física propia (Nutanix, 2026).

En este modelo, las organizaciones acceden a los recursos que ofrece un proveedor y pagan únicamente por el uso real que hacen de ellos, lo que aporta mayor flexibilidad y escalabilidad que la infraestructura tradicional (IBM, 2024). Los principales modelos de servicio comprenden la infraestructura, la plataforma y el software como servicio.

Este modelo resulta especialmente útil para alojar los componentes del lado del servidor y las bases de datos de las aplicaciones, pues evita la inversión inicial en equipos y su mantenimiento. Asimismo, permite que los recursos se ajusten de forma dinámica al número de usuarios, y solo se paga lo que se consume.

3.6.2 Firebase

Firebase es una plataforma de Google que ofrece un conjunto de servicios alojados en la nube para el desarrollo de aplicaciones móviles, web y de servidor, entre ellos bases de datos, autenticación, alojamiento y mensajería (Seidor, 2023).

Su principal ventaja es que proporciona un servidor gestionado: el desarrollador puede construir soluciones completas sin administrar servidores propios, lo que reduce el tiempo de desarrollo. Su integración nativa con Flutter, mediante paquetes oficiales, y su capa de uso

gratuito la hacen especialmente adecuada para proyectos móviles. El plan gratuito, llamado Spark, incluye la autenticación, la base de datos y la mensajería con cuotas diarias, mientras que la ejecución de funciones en la nube requiere el plan de pago por uso, llamado Blaze.

Entre los servicios que agrupa se encuentran la autenticación de usuarios, el almacenamiento de archivos, el alojamiento de contenidos y el análisis de uso, que cubren buena parte del ciclo de vida de una aplicación. Esta concentración de funciones en una sola plataforma simplifica la arquitectura y reduce la complejidad del desarrollo.

3.6.3 Google Cloud Platform

Google Cloud Platform es el conjunto de servicios de computación en la nube ofrecido por Google, que pone a disposición de los desarrolladores recursos de procesamiento, almacenamiento, redes y análisis de datos a través de su infraestructura (Google Cloud, 2024).

Firebase se apoya en esta infraestructura, de modo que los servicios de la plataforma y los de Firebase se complementan y pueden integrarse entre sí. Esto permite que una aplicación escale y acceda a capacidades avanzadas en caso de necesitarlas, dentro de un mismo ecosistema tecnológico.

La plataforma ofrece, entre otros, servicios de cómputo, almacenamiento, redes, bases de datos gestionadas y análisis de datos, accesibles bajo demanda. Su modelo de pago por uso y su escalabilidad permiten que un proyecto crezca de forma gradual sin necesidad de adquirir infraestructura propia desde el inicio.

3.6.4 Firebase Cloud Messaging

Firebase Cloud Messaging (FCM) es el servicio de Firebase que permite enviar notificaciones y mensajes a los dispositivos de los usuarios de forma gratuita y fiable, a través de las distintas plataformas (Firebase, 2026).

Mediante este servicio es posible enviar notificaciones de aviso, que se muestran al usuario, o mensajes de datos, que la aplicación procesa internamente. Constituye el mecanismo estándar para implementar notificaciones automáticas en aplicaciones móviles, por lo que se usa en los sistemas que requieren informar a los usuarios de manera oportuna.

El servicio entrega los mensajes de forma eficiente incluso cuando la aplicación no se encuentra en primer plano, y permite dirigirlos a un dispositivo concreto o a grupos de usuarios suscritos a un mismo tema. Gracias a ello, una aplicación puede comunicar avisos relevantes sin que el usuario deba consultarla de manera activa.

3.7 Base de datos

Una base de datos es un conjunto organizado de información que permite almacenarla, gestionarla y recuperarla de manera eficiente. En esta sección se describen los sistemas de almacenamiento de datos considerados, tanto en la nube como en el propio dispositivo.

3.7.1 Cloud Firestore

Cloud Firestore es la base de datos de documentos flexible y escalable de Firebase, orientada a almacenar y sincronizar datos en tiempo real para aplicaciones móviles, web y de servidor (Firebase, 2026).

En lugar de tablas y filas, la información se organiza en documentos agrupados en colecciones, donde cada documento contiene un conjunto de pares de clave y valor. Entre sus características más valoradas se encuentran la sincronización en tiempo real entre los dispositivos conectados y la capacidad de funcionamiento sin conexión, que almacena los datos localmente y los sincroniza al restablecerse la conexión.

Su modelo flexible y sin esquema rígido facilita la evolución de la estructura de los datos a medida que la aplicación crece. Además, incorpora reglas de seguridad configurables que controlan quién puede leer o escribir cada parte de la información, lo que contribuye a proteger los datos de los usuarios.

3.7.2 Firebase Realtime Database

Firebase Realtime Database es una base de datos alojada en la nube que almacena los datos en formato de Notación de Objetos de JavaScript (JSON, por sus siglas en inglés) y los sincroniza en tiempo real con todos los clientes conectados, manteniéndolos disponibles incluso sin conexión (Firebase, 2026).

A diferencia de Cloud Firestore, organiza la información como un único árbol de datos en formato JSON, lo que resulta adecuado para estructuras sencillas y para la sincronización de

estados que cambian con frecuencia. Ambas bases de datos pueden coexistir en un mismo proyecto según las necesidades de cada parte de la aplicación.

Por su diseño orientado a la baja latencia, resulta apropiada para escenarios en los que muchos clientes deben ver reflejados los cambios de manera inmediata. La elección entre una u otra base de datos depende de la complejidad de las consultas y de la forma en que se relacionan los datos de la aplicación.

3.7.3 NoSQL

Las bases de datos no relacionales, conocidas como NoSQL, emplean estructuras flexibles, como los documentos, en lugar de tablas con esquemas fijos, lo que aporta flexibilidad y escalabilidad a los proyectos (Imagina Formación, 2025).

A diferencia del modelo relacional, no requieren un esquema rígido predefinido, por lo que resultan adecuadas para almacenar grandes volúmenes de datos heterogéneos o que cambian con frecuencia (MongoDB, 2024). Las bases de datos de Firebase, como Cloud Firestore, pertenecen a esta categoría, porque organizan la información en documentos en lugar de tablas.

Existen distintos tipos de bases de datos no relacionales, entre ellas las orientadas a documentos, las de pares de clave y valor y las de columnas, cada una adecuada para escenarios particulares. Su capacidad de escalar horizontalmente y de manejar datos variados las ha hecho populares en aplicaciones modernas con grandes volúmenes de información.

3.8 Servicios web y mapas

Las aplicaciones móviles suelen comunicarse con servicios externos para obtener datos y funcionalidades. Para eso se usan mecanismos y formatos estandarizados de comunicación, así como las herramientas de mapas.

3.8.1 API REST

Una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés Application Programming Interface) es un conjunto de definiciones y protocolos que permite que distintos programas se comuniquen entre sí. La Transferencia de Estado Representacional (REST, por sus siglas en inglés Representational State Transfer) es un estilo de arquitectura para diseñar

servicios web que utiliza el protocolo HTTP para acceder a los datos y operar sobre ellos (BBVA API_Market, 2024).

Una interfaz que cumple estos principios se denomina API REST y se caracteriza por ser independiente del lenguaje y de la plataforma, así como por no guardar estado entre peticiones, de modo que cada solicitud contiene la información suficiente para ser procesada (Amara, 2024). Este estilo es el estándar predominante para que las aplicaciones móviles consuman datos de servicios externos, como los servicios meteorológicos.

Las operaciones se realizan mediante los métodos del protocolo de transferencia de hipertexto y cada recurso se identifica a través de una dirección única. La separación entre el cliente y el servidor que promueve este estilo favorece la escalabilidad y permite que ambos evolucionen de forma independiente.

3.8.2 JSON

La Notación de Objetos de JavaScript (JSON, por sus siglas en inglés JavaScript Object Notation) es un formato de texto ligero para el intercambio de datos, sencillo de leer y escribir para las personas y fácil de interpretar y generar para las máquinas (IONOS, 2025).

Aunque su origen se encuentra en el lenguaje JavaScript, es independiente de él y compatible con prácticamente todos los lenguajes de programación. La información se codifica mediante pares de clave y valor y admite la anidación de objetos y listas, por lo que se ha consolidado como el formato preferido para la comunicación entre clientes y servidores en las interfaces de programación.

Su sintaxis sencilla, basada en texto plano, facilita su depuración y su transmisión a través de la red con un bajo consumo de recursos. Por estas razones, la mayoría de los servicios web que consumen las aplicaciones móviles devuelven la información en este formato, que después la aplicación interpreta y muestra al usuario.

3.8.3 Esri y flutter_map

Esri es una empresa especializada en sistemas de información geográfica que publica, entre otros recursos, mapas base listos para usarse en aplicaciones. Uno de ellos es el mapa base gris claro, de pocos colores, que muestra poblados, carreteras, cuerpos de agua y límites

administrativos, y está pensado para dar contexto geográfico sin competir con los datos que se dibujan encima (Esri, 2025).

Para mostrar estos mapas en Flutter se utiliza flutter_map, un paquete de código abierto que presenta mapas interactivos a partir de teselas, es decir, pequeñas imágenes cuadradas que se piden al servidor según la zona y el acercamiento. No está ligado a un proveedor y admite teselas de cualquier servidor, propio o externo (Fleaflet, 2026).

La información geográfica se referencia mediante coordenadas de latitud y longitud, lo que permite ubicar con precisión cada elemento sobre el mapa. Sobre el mapa base pueden superponerse capas adicionales, como las de lluvia o nubes que ofrecen los servicios meteorológicos, y marcadores que señalan los puntos de interés.

3.8.4 HTTP

El Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP, por sus siglas en inglés Hypertext Transfer Protocol) es el protocolo de comunicación que rige el intercambio de información en la web, basado en un esquema de petición y respuesta entre un cliente y un servidor (Concepto.de, 2025).

Se trata de un protocolo sin estado, es decir, que no conserva registro de las peticiones anteriores, y emplea métodos como obtener, enviar, actualizar y eliminar para indicar la acción que se desea realizar sobre un recurso. Constituye la base sobre la que operan las interfaces de programación de tipo REST que consumen las aplicaciones.

Existe además una variante segura, conocida como Protocolo Seguro de Transferencia de Hipertexto (HTTPS), que cifra la información intercambiada entre el cliente y el servidor para proteger su confidencialidad. El uso de conexiones seguras se ha generalizado como buena práctica, especialmente cuando se transmiten datos sensibles de los usuarios.

3.9 Diseño y modelado

Antes y durante la construcción de una aplicación se emplean herramientas para diseñar sus interfaces y modelar su funcionamiento. En esta sección se describen las utilizadas con este propósito.

3.9.1 UML

El Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés Unified Modeling Language) es un lenguaje gráfico estándar para visualizar, especificar, construir y documentar los artefactos de un sistema de software, comprensible tanto para los desarrolladores como para los usuarios de negocio (Lucidchart, 2024).

No se trata de un lenguaje de programación, sino de una notación de modelado que, mediante distintos tipos de diagramas, permite representar la estructura y el comportamiento de un sistema. Su uso facilita la comunicación dentro del equipo de desarrollo y la documentación del diseño antes de su implementación.

Existen distintos diagramas según el aspecto que se desee representar; por ejemplo, los diagramas de casos de uso describen las funciones desde la perspectiva del usuario, mientras que los de clases reflejan la estructura interna del sistema. Su empleo ayuda a planificar la solución y a reducir errores antes de escribir el código.

3.9.2 Figma

Figma es una herramienta de diseño de interfaces de usuario basada en la nube, utilizada principalmente para el prototipado y la colaboración, que funciona directamente en el navegador sin necesidad de instalar software (ESIC, 2024).

Permite crear diseños y prototipos interactivos de las pantallas de una aplicación y colaborar en tiempo real entre varios miembros de un equipo. Su uso resulta útil en la fase de diseño, pues facilita definir la apariencia y la disposición de los elementos de la interfaz antes de programarla.

Al funcionar en la nube, permite que varias personas trabajen sobre un mismo archivo de forma simultánea y compartan los avances mediante un simple enlace. Asimismo, facilita la transición del diseño al desarrollo, porque proporciona a los programadores las medidas, los colores y los recursos gráficos necesarios.

3.9.3 Material You

Material You es la evolución más reciente del sistema de diseño Material Design de Google, orientada a una mayor personalización, en la que la interfaz puede adaptar sus colores a partir de las preferencias del usuario (Google, 2025).

Introducido a partir de las versiones modernas de Android, este enfoque busca ofrecer experiencias visuales más personales y coherentes con el dispositivo. Al estar basado en los principios de Material Design, puede aplicarse en aplicaciones construidas con Flutter mediante los componentes que implementan dicho sistema.

Esta orientación a la personalización busca que la apariencia de las aplicaciones se sienta más cercana y armónica con el conjunto del dispositivo. Para el desarrollador, supone disponer de pautas y componentes actualizados que reflejan las tendencias más recientes en el diseño de interfaces móviles.

3.10 Pruebas y despliegue

La construcción de software se apoya en herramientas que permiten verificar el correcto funcionamiento de los servicios y empaquetar las aplicaciones para su distribución. En este apartado se describen las que se emplean para probar las peticiones a los servicios externos antes de integrarlas y para preparar entornos de ejecución reproducibles.

3.10.1 Postman

Postman es una plataforma que ayuda a los desarrolladores a crear, probar y gestionar interfaces de programación de aplicaciones (API) de forma eficiente, mediante una interfaz gráfica intuitiva para enviar solicitudes a los servicios web y visualizar sus respuestas (Neoland, 2025).

Con esta herramienta es posible enviar peticiones con los métodos del protocolo de transferencia de hipertexto, como obtener, enviar, actualizar y eliminar, y comprobar que el servicio responde de la manera esperada. Además, permite organizar las solicitudes en colecciones, definir variables de entorno y automatizar pruebas, lo que facilita la verificación del comportamiento de los sistemas.

En el desarrollo de aplicaciones móviles que consumen servicios externos, Postman resulta de gran utilidad para probar dichos servicios antes de integrarlos en la aplicación, así como para documentar su uso. De esta forma, contribuye a detectar errores de manera temprana y a asegurar la calidad de la comunicación entre la aplicación y los servicios web.

3.10.2 Docker

Docker es una plataforma de código abierto que permite crear, probar y desplegar aplicaciones rápidamente mediante contenedores, los cuales empaquetan el software junto con todas las bibliotecas y dependencias necesarias para su ejecución (Oracle, 2025).

Un contenedor es un entorno de ejecución ligero y aislado que, a diferencia de las máquinas virtuales tradicionales, comparte el núcleo del sistema operativo, lo que lo hace más eficiente en el uso de recursos. Gracias a este empaquetado, una misma aplicación puede ejecutarse sin cambios de configuración en distintos entornos, lo que aporta portabilidad y coherencia.

Esta tecnología resulta especialmente útil para los componentes del lado del servidor, porque facilita su distribución y su despliegue en distintos servidores o en la nube. Al garantizar que el software se comporte de la misma manera en el equipo de desarrollo y en producción, Docker reduce los problemas derivados de las diferencias entre entornos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DEL SOFTWARE

El presente capítulo desarrolla el análisis del software correspondiente a la aplicación móvil de monitoreo meteorológico y alerta de riesgos climáticos para la producción agrícola en el departamento de Jalapa.

El análisis se estructura bajo el marco de trabajo Scrum, definido en el capítulo I como la metodología de desarrollo del proyecto, por lo que los requerimientos se expresan mediante visión del producto, historias de usuario, épicas y características, en lugar de una especificación cerrada de requisitos. Todo el contenido corresponde al análisis propio del proyecto y toma como insumo los resultados del instrumento de recolección de datos aplicado a los productores agrícolas del departamento.

4.1 Visión del producto

Este apartado establece qué es la aplicación, para qué existe y qué se espera obtener de ella. Se definen alcances antes de descomponerlo en funcionalidades, de modo que las decisiones posteriores de diseño y priorización puedan contrastarse contra un propósito declarado.

4.1.1 Descripción general del producto

El producto es una aplicación móvil desarrollada en Flutter para dispositivos Android, orientada a productores agrícolas de los siete municipios del departamento de Jalapa: Jalapa, San Pedro Pinula, San Luis Jilotepeque, San Manuel Chaparrón, San Carlos Alzatate, Monjas y Mataquescuintla.

La aplicación permite registrar parcelas mediante geolocalización, consultar las condiciones meteorológicas actuales y el pronóstico correspondiente a la ubicación exacta de cada parcela, y recibir alertas automáticas cuando las variables climáticas superan los umbrales agrometeorológicos definidos para el cultivo registrado. La información se obtiene desde la API de OpenWeather y se complementa con capas visuales de precipitación desplegadas sobre un mapa interactivo.

4.1.2 Objetivos principales

El producto se orienta a centralizar en un solo punto de consulta la información meteorológica relevante para la actividad agrícola del departamento, para evitar que el productor deba interpretar fuentes dispersas o de cobertura nacional que no reflejan su microclima. Asimismo, busca automatizar la generación de alertas por riesgo climático mediante un motor lógico de umbrales, de forma que el aviso llegue sin que el usuario deba consultar activamente la aplicación.

También vincular la información climática a la ubicación geográfica real de cada parcela, porque las condiciones varían mucho entre municipios e incluso dentro de un mismo municipio por efecto de la altitud y el relieve. Todo esto permite conservar un historial de condiciones y alertas que permita revisar el comportamiento climático reciente y respaldar decisiones de siembra, riego o cosecha.

4.1.3 Metas del negocio

Las metas se plantean en términos de cobertura, sostenibilidad operativa y adopción. La primera es alcanzar cobertura funcional de los siete municipios, con parcelas registradas en al menos tres de ellos durante la fase de validación. La segunda es mantener el costo operativo muy bajo, lo cual condiciona el diseño técnico: se trabaja exclusivamente con los planes gratuitos de Firebase y con las capas y puntos de acceso libres de OpenWeather, y se ajusta la frecuencia de consulta para no exceder la cuota disponible.

La tercera es lograr que el productor opere la aplicación sin capacitación previa, dado que la encuesta evidenció niveles heterogéneos de alfabetización digital. La cuarta es mantener el sistema técnicamente escalable, de modo que su publicación en Google Play y su extensión a otros departamentos del Corredor Seco resulten viables sin rediseñar la arquitectura.

4.1.4 Beneficios para los usuarios y la organización

Para el productor, el beneficio directo es disponer de anticipación frente a eventos climáticos que afectan sus cultivos. Un aviso de lluvia intensa o de descenso brusco de temperatura recibido con horas de anticipación permite postergar una aplicación de fertilizante, adelantar una cosecha o proteger un almácigo, decisiones que actualmente se toman con base en la experiencia y la observación del cielo.

A nivel departamental, el registro histórico acumulado es un insumo útil: aunque su explotación estadística queda fuera del alcance de esta versión, el diseño de la base de datos permite que la información sea aprovechable por instituciones locales interesadas en el comportamiento climático municipal.

4.2 Partes interesadas y roles

Este apartado identifica quiénes se ven afectados por el sistema y quiénes intervienen en su construcción. La distinción importa porque las restricciones del producto provienen de los requerimientos funcionales y también de las condiciones reales de quienes lo usarán y de los servicios de los que depende.

4.2.1 Identificación de las partes interesadas clave

Los productores agrícolas del departamento constituyen el usuario final y la principal parte interesada. Son quienes registran parcelas, reciben alertas y toman decisiones a partir de la información entregada; su influencia es alta, dado que sus condiciones reales de conectividad, dispositivo y alfabetización digital determinaron buena parte de las decisiones de diseño.

Los proveedores de servicios externos como OpenWeather, Google, Esri y GitHub no participan en la definición del producto, pero sus condiciones de servicio, límites de cuota y disponibilidad constituyen restricciones que el análisis debe contemplar. Entidades gubernamentales como el INSIVUMEH y el MAGA no intervienen en el sistema, pero sus criterios técnicos y umbrales publicados sirven de referencia para la parametrización del motor de alertas.

Los técnicos agrícolas y extensionistas que acompañan a los productores actúan como usuarios secundarios y como canal de difusión de la herramienta en las comunidades. La tabla siguiente resume las partes interesadas del sistema, su tipo, la forma en que participan y su nivel de influencia.

Tabla 27. *Partes interesadas del sistema.*

Parte interesada	Tipo	Participación	Influencia
Productores agrícolas de Jalapa	Usuario final	Registran parcelas, reciben alertas y toman decisiones a partir de la información entregada.	Alta
Técnicos agrícolas y extensionistas	Usuario secundario	Acompañan a los productores y difunden la herramienta en las comunidades.	Media
OpenWeather y Google	Proveedor externo	Proveen los datos meteorológicos, los servicios en la nube, los mapas base y la ejecución del ciclo automático.	Alta
INSIVUMEH y MAGA	Referencia institucional	Sus criterios técnicos y umbrales publicados orientan la parametrización del motor de alertas.	Media

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Roles dentro del equipo Scrum

El equipo se organiza bajo los tres roles del marco Scrum. El dueño del producto es responsable de la construcción y priorización de la pila del producto, de la definición de las historias de usuario y de la aceptación de los incrementos. El facilitador Scrum mantiene la cadencia de las iteraciones, da seguimiento al tablero de trabajo y resuelve los impedimentos técnicos que bloquean el avance.

El equipo de desarrollo ejecuta el diseño, la codificación en Flutter, la configuración de los servicios de Firebase, la integración con las interfaces externas y las pruebas de cada incremento. Los tres roles se resumen en la tabla siguiente. Dado que el equipo está conformado por una sola persona, los tres roles recaen en el desarrollador del proyecto.

Tabla 28. *Roles del equipo Scrum.*

Rol	Responsable	Función principal
Dueño del producto	Desarrollador del proyecto	Construye y prioriza la pila del producto, define las historias de usuario y acepta los incrementos.
Facilitador Scrum	Desarrollador del proyecto	Mantiene la cadencia de las iteraciones, da seguimiento al tablero y resuelve los impedimentos.
Equipo de desarrollo	Desarrollador del proyecto	Diseña, codifica en Flutter, configura Firebase, integra los servicios externos y prueba cada incremento.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Responsabilidad de cada rol

El dueño del producto define el valor de cada elemento de la pila del producto y prioriza primero las funcionalidades sin las cuales el resto del sistema no puede operar, concretamente el registro de parcelas y la adquisición de datos meteorológicos.

El facilitador Scrum mantiene actualizado el tablero y documenta al cierre de cada iteración los obstáculos encontrados, particularmente los relacionados con límites de cuota o con el comportamiento del dispositivo en baja conectividad. El equipo de desarrollo respeta la estructura de carpetas definida, mantiene el control de versiones sobre Git, genera las versiones de prueba al cierre de cada iteración y verifica cada historia contra sus criterios antes de darla por terminada.

4.2.4 Perfil del usuario

El usuario objetivo es un productor agrícola de entre veinticinco y sesenta años, residente en alguno de los siete municipios del departamento, dedicado principalmente al cultivo de maíz, frijol, café u hortalizas en parcelas de extensión reducida. Los datos recibidos evidenciaron que el acceso al teléfono inteligente con Android es generalizado, aunque predominan equipos de gama media y baja y la conectividad es intermitente fuera de los cascos urbanos.

La familiaridad con aplicaciones se concentra en mensajería y redes sociales, mientras que el uso de aplicaciones especializadas es escaso. Por lo que se requiere interfaces de pocos pasos, textos breves, íconos reconocibles y ausencia de terminología técnica en pantalla.

4.3 Historias de usuario

Las historias de usuario expresan los requerimientos funcionales desde la perspectiva de quien utiliza la aplicación. Cada una describe una necesidad concreta junto con el resultado que se espera obtener, y se acompaña de los criterios que permiten verificar cuándo puede considerarse terminada.

4.3.1 Estructura de las historias de usuario

Las historias se redactan bajo el formato de rol, funcionalidad y beneficio, y se acompañan de un identificador correlativo, sus criterios de aceptación y una estimación en puntos de historia bajo la escala de Fibonacci, con valores de 1, 2, 3, 5, 8 y 13.

4.3.2 Historias de usuario principales

A partir de las necesidades identificadas en el instrumento de recolección de datos se definieron dieciséis historias de usuario, agrupadas según el módulo funcional al que pertenecen, y durante la validación se agregó la HU-17, que recoge la opinión del productor desde la propia aplicación. Las primeras corresponden al acceso y a la gestión de parcelas, que constituyen la base sobre la que opera el resto del sistema; las siguientes cubren la consulta meteorológica y el motor de alertas, donde se concentra el valor principal del producto; y las últimas atienden el historial y la generación de reportes.

La estimación en puntos refleja la complejidad relativa de cada una y no el tiempo de desarrollo, por lo que las historias de mayor puntaje son aquellas con más dependencias técnicas o con mayor incertidumbre en su implementación.

Tabla 29. *Historias de usuario del sistema.*

ID	Rol	Funcionalidad requerida	Beneficio esperado	Est.
HU-01	Productor agrícola	Registrarme con mi correo o con mi cuenta de Google	Que mis parcelas y alertas queden asociadas a mi cuenta y disponibles desde cualquier dispositivo	3
HU-02	Productor registrado	Iniciar sesión y que la sesión permanezca activa	No tener que autenticarme cada vez que abro la aplicación	2
HU-03	Productor agrícola	Marcar la ubicación de mi parcela sobre un mapa	Que la información meteorológica corresponda a mi terreno y no a la cabecera municipal	8
HU-04	Productor agrícola	Registrar mi parcela usando la ubicación del teléfono	No tener que buscarla manualmente en el mapa mientras estoy en el terreno	3
HU-05	Productor agrícola	Asignar a cada parcela un nombre, el cultivo sembrado y su etapa fenológica	Que las alertas se ajusten a lo que realmente produzco	5
HU-06	Productor agrícola	Ver el listado de mis parcelas y poder editarlas o eliminarlas	Mantener la información actualizada cuando cambio de cultivo	5
HU-07	Productor agrícola	Ver la temperatura, humedad, precipitación y viento actuales de mi parcela	Conocer la condición del momento antes de salir a trabajar	5
HU-08	Productor agrícola	Consultar el pronóstico de los próximos cinco días	Planificar las labores de la semana	5

ID	Rol	Funcionalidad requerida	Beneficio esperado	Est.
HU-09	Productor agrícola	Ver sobre el mapa dónde llueve o hace más calor en el departamento	Entender si la lluvia se dirige hacia mi zona	8
HU-10	Productor agrícola	Recibir una notificación cuando las condiciones pronosticadas representen un riesgo	Tomar medidas antes de que ocurra el daño al cultivo	13
HU-11	Productor agrícola	Abrir la alerta y ver qué la originó y a qué parcela afecta	Saber cómo responder ante el evento reportado	5
HU-12	Productor agrícola	Activar o desactivar los tipos de alerta que recibo	No ser notificado de eventos que no afectan mi cultivo	3
HU-13	Productor agrícola	Revisar el registro de las condiciones de los días anteriores	Comparar cómo ha estado el tiempo en mi parcela	8
HU-14	Productor agrícola	Ver las alertas recibidas anteriormente	Llevar control de los eventos que han afectado mi parcela	5
HU-15	Productor agrícola	Ver los últimos datos descargados aunque no tenga señal	Consultar la información en zonas sin cobertura	8
HU-16	Productor agrícola	Generar un resumen de las condiciones y alertas de un período y guardarlo en PDF, Excel o CSV, o imprimirlo	Tener un respaldo de lo ocurrido en mi terreno	8
HU-17	Productor agrícola	Responder desde la aplicación una encuesta breve sobre su utilidad	Que mi experiencia quede registrada y sirva para mejorar la aplicación	3

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Criterios de aceptación

Para el registro de parcela por mapa, este debe cargar centrado en el departamento de Jalapa y permitir colocar un marcador en cualquier punto; al confirmar se guarda la latitud y longitud con al menos cuatro decimales, y si el punto queda fuera de los límites departamentales el sistema advierte y no permite continuar.

Para la consulta de clima actual, al abrir una parcela se muestran temperatura, humedad relativa, precipitación y velocidad del viento correspondientes a sus coordenadas, acompañadas de la hora de última actualización; si la consulta falla se muestran los últimos datos almacenados con indicación de que no están vigentes. Al abrir la aplicación sin conexión rige el mismo criterio, sincronizándose los datos de manera automática al restablecerse la señal.

Para la alerta automática, el sistema evalúa periódicamente los datos pronosticados de cada parcela frente a los umbrales de su cultivo y etapa. Cuando un umbral se supera se genera una notificación dirigida únicamente al propietario, con el tipo de riesgo y el nombre de la parcela.

4.3.4 Reglas del negocio asociadas

Toda parcela debe estar asociada a una cuenta de usuario, sin que se permita el registro en modo anónimo, y sus coordenadas deben ubicarse dentro de los límites del departamento de Jalapa. Un usuario solo puede gestionar las parcelas que él mismo registró.

Las alertas se generan por parcela y no por municipio, de modo que dos parcelas del mismo municipio pueden recibir alertas distintas si sus condiciones pronosticadas difieren. Los umbrales dependen del cultivo y la etapa fenológica registrada; una parcela sin cultivo asignado recibe solo alertas generales.

La frecuencia de consulta al servicio meteorológico se ajusta para permanecer dentro de los límites del plan gratuito, con la agrupación de las peticiones de parcelas geográficamente cercanas. Finalmente, la aplicación no emite alertas oficiales ni sustituye los comunicados de las instituciones competentes: toda alerta se presenta como información de apoyo a la decisión del productor. Las reglas del negocio se detallan en la tabla siguiente.

Tabla 30. *Reglas del negocio del sistema.*

Código	Regla
RN-01	Toda parcela debe estar asociada a una cuenta de usuario; no se permite el registro anónimo.
RN-02	Las coordenadas de la parcela deben ubicarse dentro de los límites del departamento de Jalapa.
RN-03	Un usuario solo puede gestionar las parcelas que él mismo registró.
RN-04	Las alertas se generan por parcela y no por municipio.
RN-05	Los umbrales dependen del cultivo y la etapa fenológica; una parcela sin cultivo asignado recibe solo alertas generales.
RN-06	La frecuencia de consulta al servicio meteorológico se ajusta al plan gratuito y agrupa las parcelas cercanas.
RN-07	Las alertas son información de apoyo a la decisión y no sustituyen los comunicados oficiales.

Fuente: Elaboración propia.

La regla RN-05 se concreta en el catálogo de umbrales que utiliza el motor de alertas. Sus valores provienen de los criterios de referencia expuestos en el apartado 2.4.7 y se asignan a los tres niveles de alerta del sistema: informativa, preventiva y crítica. Todos se evalúan sobre el pronóstico de los próximos cinco días de cada parcela, y no sobre el dato ya ocurrido, para que el productor disponga de tiempo para actuar. La Tabla 31 presenta el catálogo inicial.

Tabla 31. *Catálogo inicial de umbrales del sistema.*

Variable	Aplica a	Informativa	Preventiva	Crítica
Lluvia (intensidad media por hora)	Todos los cultivos	—	Más de 15 mm/h	Más de 30 mm/h
Viento	Todos los cultivos, con la referencia del café	—	Más de 15 km/h	Más de 30 km/h

Variable	Aplica a	Informativa	Preventiva	Crítica
Sequía (días seguidos con menos de 1 mm)	Todos los cultivos fuera de etapa sensible	5 a 10 días	11 a 15 días	Más de 15 días
Sequía (días seguidos con menos de 1 mm)	Maíz en floración y frijol en floración o llenado de vainas	—	5 a 10 días	Más de 10 días
Temperatura mínima	Todos los cultivos	—	—	0 °C o menos (helada)
Temperatura mínima	Café	—	Menos de 15 °C	—
Temperatura mínima	Frijol	—	Menos de 18 °C	—
Temperatura máxima	Café	—	Más de 30 °C	Más de 30 °C durante tres días o más
Temperatura máxima	Frijol	—	Más de 28 °C	Más de 28 °C durante tres días o más
Temperatura máxima	Maíz	—	Más de 35 °C en etapa vegetativa	Más de 35 °C en floración o llenado de grano
Humedad relativa	Café	—	Más de 85 %	—

Fuente: Elaboración propia con base en la Tabla 26.

Dos criterios del catálogo son decisiones de diseño derivadas de las fuentes citadas. El primero adelanta un nivel la alerta de sequía durante las etapas en que el maíz y el frijol son más vulnerables al déficit hídrico (Fuentes López, 2002; González, 2021).

El segundo adopta la duración de tres días con que se identifica una ola de calor (Bardales Espinoza et al., 2019) para distinguir una alerta preventiva de una crítica en las temperaturas máximas. Por su parte, el umbral de viento proviene de la guía del café y se aplica a los demás cultivos como referencia general.

Cuando un umbral general y uno propio del cultivo dan el mismo nivel, se aplica el del cultivo. Una misma sequía genera una sola alerta, fechada el día en que alcanza el umbral, y un día sin registro corta la cuenta de días secos. Los días seguidos de calor llegan en una sola notificación, aunque en la aplicación queda una alerta por cada día.

Las hortalizas se evalúan únicamente con los criterios generales de lluvia, viento, sequía y helada, porque no se cuenta todavía con una fuente que fije sus rangos térmicos para el departamento. Conforme al requerimiento RNF-19, el catálogo se almacena como configuración, por lo que cualquier valor puede ajustarse con los resultados de la validación en campo sin recompilar la aplicación. El productor no puede modificar los umbrales desde la aplicación; solo consulta lo que aguanta su cultivo.

4.4 Épicas y características

Las historias individuales se agrupan en unidades mayores que corresponden a los módulos funcionales del sistema. Esta organización permite visualizar el producto como un conjunto de bloques con dependencias entre sí, y es la que determina el orden en que se abordan durante el desarrollo.

4.4.1 Identificación de épicas

El producto se organiza en cinco épicas, cada una correspondiente a un módulo funcional. La primera, acceso y gestión de cuenta, agrupa el registro, la autenticación, la administración del perfil y la encuesta de opinión. La segunda, gestión geoespacial de parcelas, comprende el registro, edición, eliminación y visualización cartográfica de los terrenos del productor. La tercera, monitoreo meteorológico, abarca la adquisición de datos desde OpenWeather, su presentación en pantalla y las capas visuales sobre el mapa.

La cuarta, motor de alertas, contiene los umbrales, la evaluación periódica y la entrega de notificaciones. La quinta, historial y reportes, reúne el registro de condiciones pasadas, el

historial de alertas y la generación de resúmenes por período. La tabla siguiente presenta las cinco épicas del producto y las historias de usuario que agrupa cada una.

Tabla 32. *Épicas del producto.*

Código	Épica	Descripción	Historias
EP-01	Acceso y gestión de cuenta	Registro, autenticación, administración del perfil y encuesta de opinión.	HU-01, HU-02, HU-17
EP-02	Gestión geoespacial de parcelas	Registro, edición, eliminación y visualización de parcelas en el mapa.	HU-03 a HU-06
EP-03	Monitoreo meteorológico	Adquisición, presentación y almacenamiento en caché de los datos.	HU-07, HU-08, HU-09, HU-15
EP-04	Motor de alertas	Umbrales, evaluación periódica y entrega de notificaciones.	HU-10, HU-11, HU-12
EP-05	Historial y reportes	Registro de condiciones, alertas anteriores y resúmenes por período.	HU-13, HU-14, HU-16

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Desglose en características

La épica de acceso se desglosa en el registro de usuario mediante Firebase Authentication, con correo y contraseña o con la cuenta de Google, el inicio de sesión con persistencia, la recuperación de contraseña, la edición del perfil y la encuesta de opinión. La gestión geoespacial de parcelas comprende el mapa interactivo centrado en Jalapa, el marcado por selección directa y por ubicación del dispositivo, la validación de coordenadas dentro de los límites departamentales, el formulario con nombre, cultivo, etapa fenológica y área, el listado con edición y eliminación, y la persistencia en Firestore.

El monitoreo meteorológico incluye el cliente de consumo del servicio de OpenWeather, el panel de condiciones actuales, el pronóstico de cinco días, las capas de lluvia, nubes, calor y viento sobre el mapa y el almacenamiento en caché.

El motor de alertas contempla el catálogo de umbrales por cultivo y etapa, el servicio de evaluación periódica, la clasificación por nivel de severidad, el envío de notificaciones mediante Firebase Cloud Messaging, la pantalla de detalle, el control de duplicados y las preferencias por tipo de alerta. Las características que componen cada épica se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 33. *Características por épica.*

Épica	Características
EP-01	Registro de usuario con correo o cuenta de Google mediante Firebase Authentication, inicio de sesión con persistencia, recuperación de contraseña, edición del perfil y encuesta de opinión con permiso para usar las respuestas.
EP-02	Mapa interactivo centrado en Jalapa, marcado por selección directa y por ubicación del dispositivo, validación de límites departamentales, formulario de nombre, cultivo, etapa fenológica y área, listado con edición y eliminación, y persistencia en Firestore.
EP-03	Cliente de consumo de OpenWeather, panel de condiciones actuales, pronóstico de cinco días, capas de lluvia, nubes, calor y viento sobre el mapa y almacenamiento en caché.
EP-04	Catálogo de umbrales por cultivo y etapa, evaluación periódica, clasificación por severidad, envío mediante Firebase Cloud Messaging, pantalla de detalle, control de duplicados y preferencias por tipo de alerta.
EP-05	Historial de condiciones, historial de alertas, resumen por período, visualización gráfica, exportación a PDF, Excel y CSV e impresión.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Priorización inicial

La priorización sigue el valor entregado al usuario y las dependencias técnicas entre módulos, dado que el proyecto se desarrolla en seis iteraciones de dos semanas. La prioridad más alta corresponde al acceso y a la gestión geoespacial de parcelas, dado que sin una cuenta y sin parcelas registradas con coordenadas válidas, ningún otro módulo puede operar; ambas se abordan en las primeras dos iteraciones.

En segundo lugar, se ubica el monitoreo meteorológico, núcleo informativo del producto que habilita el resto de las funcionalidades al proveer los datos sobre los cuales se evalúan los

umbrales. En tercer lugar, se posiciona el motor de alertas, diferenciador principal del sistema, pero dependiente de que la adquisición de datos ya opere de forma estable.

Dentro de cada épica se aplica una clasificación por nivel de obligatoriedad. Se consideran imprescindibles el registro de parcelas, la consulta de condiciones actuales y la alerta por umbral; deseables el pronóstico de cinco días, las capas del mapa y el historial; convenientes la generación de reportes y la visualización gráfica.

4.5 Requerimientos no funcionales

A diferencia de las historias de usuario, que describen lo que la aplicación debe hacer, los requerimientos no funcionales establecen bajo qué condiciones debe hacerlo. Definen atributos de calidad medibles y las restricciones que acotan las decisiones técnicas del proyecto.

4.5.1 Seguridad

Los requerimientos de seguridad definen las condiciones bajo las cuales el sistema protege las credenciales de acceso, la información almacenada y los datos que circulan entre la aplicación y los servicios externos.

Tabla 34. *Requerimientos no funcionales de seguridad.*

Código	Requerimiento	Criterio de verificación
RNF-01	Autenticación de acceso. El ingreso al sistema se controla mediante Firebase Authentication, sin que la aplicación almacene contraseñas de forma local.	Iniciar sesión con credenciales válidas e inválidas y comprobar que no exista registro local de la contraseña.
RNF-02	Aislamiento de datos por usuario. Cada documento de parcela, condición o alerta solo es legible y modificable por su propietario.	Intentar recuperar un documento ajeno mediante su identificador y confirmar que se rechaza la operación.
RNF-03	Cifrado en tránsito. Toda comunicación con Firebase y con el servicio meteorológico se realiza sobre protocolo seguro.	Inspeccionar el tráfico de la aplicación y confirmar la ausencia de peticiones sin cifrado.

Código	Requerimiento	Criterio de verificación
RNF-04	Resguardo de claves. Las credenciales de los servicios externos no se exponen en el código versionado; las del ciclo automático se guardan como secretos de GitHub.	Revisar el repositorio y confirmar la exclusión de los archivos de configuración.
RNF-05	Permisos mínimos. Solo se solicitan ubicación y notificaciones, y la ubicación se pide en el momento en que la funcionalidad la requiere.	Revisar el manifiesto de la aplicación y el comportamiento durante la primera ejecución.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Rendimiento

Los requerimientos de rendimiento fijan los tiempos de respuesta y los límites de consumo que la aplicación debe respetar en los dispositivos de gama media identificados entre los usuarios objetivo.

Tabla 35. *Requerimientos no funcionales de rendimiento.*

Código	Requerimiento	Criterio de verificación
RNF-06	Tiempo de carga inicial. La pantalla principal se muestra en un máximo de tres segundos en un dispositivo con dos gigabytes de memoria y Android 8.0.	Medir el arranque en frío sobre un dispositivo físico de gama media.
RNF-07	Tiempo de respuesta de consulta. Las condiciones de una parcela se resuelven en un máximo de cinco segundos bajo conexión estable.	Cronometrar la consulta en diez ejecuciones consecutivas.
RNF-08	Degradación controlada. Si la consulta excede el tiempo previsto o falla, se presenta el dato almacenado en caché.	Ejecutar la consulta con el servicio meteorológico deshabilitado.

Código	Requerimiento	Criterio de verificación
RNF-09	Tamaño del paquete. El archivo de instalación no supera los cincuenta megabytes.	Inspeccionar el archivo generado en la compilación de publicación.
RNF-10	Latencia de la alerta. La notificación se entrega dentro de los cinco minutos posteriores a la detección del umbral superado.	Registrar las marcas de tiempo entre la detección y la recepción en el dispositivo.
RNF-11	Consumo de datos. La sincronización evita descargas repetidas de información que no ha cambiado.	Medir el consumo acumulado durante una semana de uso continuo.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 Usabilidad

Los requerimientos de usabilidad traducen el perfil del usuario descrito en el análisis en condiciones concretas de interacción, orientadas al uso en condiciones de campo. La Tabla 36 presenta cada requerimiento con su código, su descripción y el criterio con que se verifica su cumplimiento.

Tabla 36. *Requerimientos no funcionales de usabilidad.*

Código	Requerimiento	Criterio de verificación
RNF-12	Economía de pasos. El registro de una parcela se completa en un máximo de cuatro pasos.	Contar las pantallas y confirmaciones del flujo completo.
RNF-13	Lenguaje llano. Los textos de la interfaz se redactan en español, sin terminología técnica meteorológica.	Revisar las cadenas de la interfaz y validarlas con productores.
RNF-14	Alertas orientadas a la acción. Cada alerta indica qué ocurre y qué conviene hacer, y no solo valores numéricos.	Revisar el catálogo de mensajes de alerta.

Código	Requerimiento	Criterio de verificación
RNF-15	Accesibilidad táctil y visual. Los elementos interactivos cuentan con área táctil suficiente y la severidad se señala por color e ícono a la vez.	Inspeccionar en pantalla de cinco pulgadas y probar la lectura bajo luz solar directa.
RNF-16	Retroalimentación de estado. La aplicación informa cuándo carga, cuándo la información no está vigente y cuándo una acción se completó.	Recorrer los flujos principales y verificar la presencia de los tres avisos.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4 Escalabilidad

Los requerimientos de escalabilidad establecen las condiciones que permiten el crecimiento del volumen de datos y la extensión geográfica del sistema sin rediseñar su arquitectura.

Tabla 37. *Requerimientos no funcionales de escalabilidad.*

Código	Requerimiento	Criterio de verificación
RNF-17	Modelo de datos por colecciones. Usuarios, parcelas, condiciones y alertas se almacenan como documentos independientes.	Verificar que el tiempo de consulta individual no se degrade al aumentar el volumen de registros.
RNF-18	Extensión geográfica. El municipio se define como atributo de la parcela y no como estructura fija del modelo.	Incorporar un municipio de prueba y confirmar que no requiere cambios en el modelo ni en las consultas.
RNF-19	Umbrales configurables. El catálogo de umbrales se almacena como configuración y no como valores fijos en el código.	Agregar un cultivo nuevo y comprobar que no es necesario recompilar la aplicación.

Código	Requerimiento	Criterio de verificación
RNF-20	Separación por capas. La presentación, la lógica de negocio y el acceso a datos se mantienen desacoplados.	Sustituir el proveedor meteorológico en un entorno de prueba sin modificar la capa de presentación.
RNF-21	Límite del servicio gratuito. El crecimiento más allá de la fase de validación implica la migración a un plan de pago por uso.	Monitorear el consumo acumulado de lecturas, escrituras y almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.5 Compatibilidad

Los requerimientos de compatibilidad delimitan las plataformas, versiones y condiciones de distribución bajo las cuales la aplicación debe operar correctamente. La Tabla 38 presenta cada requerimiento con su código, su descripción y el criterio con que se verifica su cumplimiento.

Tabla 38. *Requerimientos no funcionales de compatibilidad.*

Código	Requerimiento	Criterio de verificación
RNF-22	Versión mínima soportada. La aplicación se compila para Android 8.0 o superior, condición requerida por los canales de notificación y por las bibliotecas de Firebase.	Instalar y ejecutar la aplicación en un dispositivo con la versión mínima declarada.
RNF-23	Adaptación de pantalla. La interfaz se ajusta a distintas dimensiones y densidades sin pérdida de información ni desbordamiento.	Probar en pantallas de cinco pulgadas y de mayor tamaño.
RNF-24	Dependencia de los servicios de Google Play. El dispositivo debe contar con ellos para recibir la mensajería en la nube.	Verificar el comportamiento en un dispositivo sin los servicios instalados.

Código	Requerimiento	Criterio de verificación
RNF-25	Distribución por instalación directa. Durante la validación la aplicación se entrega como archivo instalable, sin intermediación de la tienda.	Instalar el archivo en un dispositivo de prueba con los orígenes desconocidos habilitados.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.6 Restricciones técnicas

Las restricciones técnicas corresponden a condiciones externas al diseño que acotan las decisiones del proyecto y cuyo efecto debe considerarse en la interpretación de los resultados. La Tabla 39 presenta cada restricción con su código y la implicación que tiene en el análisis.

Tabla 39. *Restricciones técnicas del proyecto.*

Código	Restricción	Implicación en el análisis
RT-01	Costo cero de operación. No se contratan servicios de terceros de pago durante el desarrollo ni la validación.	Limita el sistema al plan Spark de Firebase, al plan gratuito de OpenWeather, que solo ofrece el pronóstico de cinco días, y a mapas sin costo, y condiciona la frecuencia de consulta.
RT-02	Resolución espacial de los datos. La información meteorológica corresponde a la retícula del proveedor y no a mediciones tomadas en la parcela.	Introduce un margen de imprecisión que debe hacerse explícito al usuario dentro de la aplicación.
RT-03	Ausencia de estaciones locales. No existe una red densa de estaciones en el departamento que permita contrastar los datos.	Obliga a calibrar los umbrales con referencias institucionales y con las pruebas en campo.
RT-04	Capacidad de desarrollo. El sistema se construye con un equipo de una sola persona.	Limita la capacidad por iteración y obliga a una priorización estricta de la pila del producto.

Código	Restricción	Implicación en el análisis
RT-05	Dependencia del dispositivo. La entrega de notificaciones depende de la conectividad y de las políticas de ahorro de energía del sistema operativo.	Exige replicar toda alerta dentro de la aplicación y en el historial.

Fuente: Elaboración propia.

4.6 Pila del producto

La pila del producto concentra en una sola lista ordenada todo el trabajo pendiente del sistema. A diferencia de las historias individuales, que describen necesidades aisladas, la pila establece qué se construye primero y qué depende de qué, y se mantiene viva durante todo el desarrollo.

4.6.1 Estructura de la pila del producto

La pila se organiza como una lista única de elementos ordenados de mayor a menor prioridad. Cada elemento registra su identificador, la épica a la que pertenece, el enunciado de la historia, sus criterios de aceptación, la estimación en puntos y su estado de avance. Los estados contemplados son pendientes, en refinamiento, listo para iteración, en desarrollo, en prueba y terminado.

Además de las diecisiete historias de usuario, la pila incorpora elementos que no son visibles para el productor, pero resultan indispensables para el funcionamiento del sistema: la configuración inicial del proyecto en Flutter, la creación del proyecto en Firebase con sus reglas de seguridad, la definición del catálogo de umbrales agrometeorológicos (Tabla 31) y la preparación del servicio de evaluación periódica. Estos elementos se identifican como habilitadores técnicos y se estiman con la misma escala que las historias.

La pila se gestiona en un tablero digital vinculado al repositorio de código, de modo que cada elemento queda asociado a las ramas y confirmaciones que lo implementan. Esta trazabilidad permite reconstruir en cualquier momento qué se hizo, cuándo y con qué propósito.

La tabla siguiente presenta los elementos de la pila del producto en su orden de prioridad. Todos inician en estado pendiente, y sus criterios de aceptación corresponden a los definidos para cada historia.

Tabla 40. *Elementos de la pila del producto.*

#	ID	Épica	Elemento	Puntos
1	HT-01	Habilitador	Configuración inicial del proyecto en Flutter	3
2	HT-02	Habilitador	Proyecto en Firebase y reglas de seguridad	5
3	HU-01	EP-01	Registro de usuario	3
4	HU-02	EP-01	Sesión persistente	2
5	HU-03	EP-02	Ubicación de la parcela en el mapa	8
6	HU-04	EP-02	Registro de parcela por ubicación del teléfono	3
7	HU-05	EP-02	Nombre, cultivo y etapa fenológica de la parcela	5
8	HU-06	EP-02	Listado, edición y eliminación de parcelas	5
9	HU-07	EP-03	Condiciones actuales de la parcela	5
10	HU-15	EP-03	Consulta sin conexión	8
11	HU-08	EP-03	Pronóstico de los próximos días	5
12	HT-03	EP-04	Catálogo de umbrales agrometeorológicos	5
13	HT-04	EP-04	Servicio de evaluación periódica	8
14	HU-10	EP-04	Notificación por riesgo climático	13
15	HU-11	EP-04	Detalle de la alerta	5
16	HU-12	EP-04	Preferencias por tipo de alerta	3
17	HU-09	EP-03	Capa de precipitación en el mapa	8
18	HU-14	EP-05	Historial de alertas	5
19	HU-13	EP-05	Registro de condiciones anteriores	8
20	HU-16	EP-05	Resumen de un período	8
21	HU-17	EP-01	Encuesta de opinión dentro de la aplicación	3
			Total	**118**

Fuente: Elaboración propia.

4.6.2 Priorización basada en valor

El criterio principal de ordenamiento es el valor que cada elemento entrega al productor agrícola, entendido como su capacidad de reducir pérdidas ante un evento climático. Bajo ese criterio, la alerta automática por umbral es el elemento de mayor valor del sistema, seguida por el registro geolocalizado de parcelas y la consulta de condiciones actuales.

El valor por sí solo no basta para ordenar la pila, porque los elementos de mayor valor son también los que dependen de más piezas previas. Por eso, la priorización combina tres factores: el valor entregado, el costo de la implementación medido en puntos de historia y las dependencias técnicas. Un elemento de alto valor cuya dependencia no esté resuelta se pospone, y en su lugar asciende el habilitador que lo desbloquea.

El resultado es una pila cuyos primeros lugares los ocupan el acceso a la cuenta, el registro de parcelas y la adquisición de datos meteorológicos; la parte media concentra el motor de alertas y sus notificaciones; y la parte final agrupa el historial, los reportes y la visualización gráfica, cuyo valor solo se manifiesta tras varias semanas de operación. La tabla siguiente muestra el valor asignado a cada elemento, su nivel de obligatoriedad y la iteración en que se prevé abordarlo.

Tabla 41. *Valor de los elementos de la pila del producto.*

ID	Valor para el productor	Obligatoriedad	Iteración
HT-01, HT-02	Indirecto, habilitan todo el sistema	Imprescindible	1
HU-01, HU-02	Medio	Imprescindible	1
HU-03, HU-04, HU-05	Alto	Imprescindible	2
HU-06	Medio	Imprescindible	2
HU-07, HU-15	Alto	Imprescindible	3
HU-08	Medio	Deseable	3
HT-03, HT-04	Indirecto, habilitan las alertas	Imprescindible	4
HU-10	Muy alto	Imprescindible	4
HU-11, HU-12	Medio	Imprescindible	4

ID	Valor para el productor	Obligatoriedad	Iteración
HU-09	Medio	Deseable	5
HU-13, HU-14	Medio	Deseable	5
HU-16	Bajo	Conveniente	6
HU-17	Indirecto, recoge la opinión del productor	Conveniente	6

Fuente: Elaboración propia.

La sexta iteración reserva además capacidad para los ajustes que surjan de las pruebas en campo. Por esta razón su carga de historias es menor que la de las anteriores y se completa con los cambios que se identifiquen durante la validación con los productores. De esa validación surgió la historia HU-17, la encuesta de opinión dentro de la aplicación, que se usa como instrumento de la postimplementación.

4.6.3 Dependencias entre elementos de la pila

Las dependencias del sistema forman una cadena bastante rígida que condiciona el orden de construcción. El registro de parcelas depende de que exista una cuenta de usuario, porque toda parcela se almacena asociada a un identificador.

La consulta meteorológica depende del registro de parcelas, porque sin coordenadas no hay punto que consultar. El motor de alertas depende de la consulta meteorológica, porque evalúa umbrales sobre datos que alguien debe haber obtenido antes. Y el historial depende del motor de alertas, porque registra lo que este produce.

Existen además dependencias hacia servicios externos que no están bajo control del desarrollo. La entrega de notificaciones depende de la disponibilidad de Firebase Cloud Messaging, y la obtención de datos depende de que el servicio de OpenWeather responda dentro de la cuota gratuita. Ambas se tratan como supuestos de la pila y se les asocia una alternativa de contingencia: caché local para los datos y aviso dentro de la aplicación para las alertas.

Una tercera categoría corresponde a dependencias de información. El catálogo de umbrales no puede parametrizarse sin haber definido antes los cultivos y las etapas fenológicas que el sistema reconoce, y esa definición depende de los resultados de la encuesta aplicada a los

productores. Con base en los elementos de la pila del producto, la tabla siguiente detalla las dependencias de cada uno.

Tabla 42. *Dependencias entre elementos de la pila del producto.*

Elemento	Depende de	Tipo	Motivo
HT-02	HT-01	Técnica	Firebase se integra sobre el proyecto en Flutter.
HU-01, HU-02	HT-02	Técnica	Requieren Firebase Authentication.
HU-03, HU-04	HU-01	Técnica	Toda parcela se asocia a una cuenta.
HU-05, HU-06	HU-03 o HU-04	Técnica	Se aplican sobre una parcela registrada.
HU-07, HU-08	HU-03 o HU-04; OpenWeather	Técnica y externa	Sin coordenadas no hay punto que consultar.
HU-15	HU-07	Técnica	Presenta en caché lo ya descargado.
HU-09	HU-03; OpenWeather	Técnica y externa	La capa se dibuja sobre el mapa de parcelas.
HT-03	HU-05; resultados de la encuesta	Información	Requiere los cultivos y etapas definidos.
HT-04	HU-07, HT-03	Técnica	Evalúa los datos obtenidos frente a los umbrales.
HU-10	HT-04; Firebase Cloud Messaging	Técnica y externa	Notifica lo que detecta la evaluación.
HU-11, HU-12	HU-10	Técnica	Operan sobre alertas existentes.
HU-13	HU-07	Técnica	Registra las condiciones descargadas.
HU-14	HU-10	Técnica	Registra las alertas generadas.
HU-16	HU-13, HU-14	Técnica	Resume ambos historiales.

Elemento	Depende de	Tipo	Motivo
HU-17	HU-01; HU-03 o HU-04	Técnica	Se asocia a la cuenta y toma el municipio y el cultivo de la primera parcela.

Fuente: Elaboración propia.

4.6.4 Refinamiento de la pila

El refinamiento consiste en revisar periódicamente los elementos de la pila para mantenerlos claros, estimados y ordenados. Se realiza una sesión de refinamiento a mitad de cada iteración, con el objetivo de que los elementos que ingresarán a la siguiente estén listos antes de que esta comience.

Durante el refinamiento se ejecutan cuatro acciones. La primera es descomponer los elementos que superan los trece puntos en historias menores verificables de forma independiente. La segunda es reestimar aquellos cuyo alcance cambió al conocerse mejor el comportamiento de las bibliotecas o de los servicios externos. La tercera es completar o ajustar los criterios de aceptación cuando resultaron ambiguos durante la implementación. La cuarta es incorporar los elementos nuevos surgidos de las pruebas en campo y reubicarlos según su valor.

El refinamiento también sirve para retirar elementos. Cuando una funcionalidad deja de aportar valor frente a otras alternativas o excede el alcance definido, se elimina de la pila y se documenta la razón, para evitar que la lista crezca de forma indefinida con trabajo que nunca se ejecutará.

4.7 Análisis de procesos y comportamiento del sistema

Este apartado describe cómo se comporta el sistema durante su operación: qué procesos ejecuta, en qué orden y de qué manera interactúan el productor y los componentes internos. El propósito es dejar explícita la lógica que después se traduce en la arquitectura y en el diseño de las pantallas.

4.7.1 Descripción de los procesos clave

La operación del sistema se sostiene en cinco procesos. Dos de ellos responden a acciones directas del productor y los tres restantes se ejecutan de forma automática, sin

intervención del usuario. La evaluación de umbrales compara cada variable pronosticada contra el catálogo presentado en la Tabla 31.

Tabla 43. *Procesos clave del sistema.*

Proceso	Disparador	Actividades principales	Resultado
Registro de la parcela	Acción directa del productor	Captura de coordenadas por mapa o por ubicación del dispositivo, validación de límites departamentales y llenado de los datos del cultivo.	Parcela almacenada y asociada a la cuenta del usuario.
Adquisición de datos meteorológicos	Ciclo programado del sistema	Recorrido de las parcelas registradas, agrupación de las cercanas, consulta al servicio y actualización de la marca de vigencia.	Condiciones y pronóstico almacenados por parcela.
Evaluación de umbrales	Disponibilidad de datos nuevos	Recuperación de los umbrales del cultivo y la etapa, comparación de cada variable y verificación de alertas equivalentes previas.	Alertas generadas con su nivel de severidad.
Notificación	Generación de una alerta	Consulta de las preferencias del productor, construcción del mensaje en lenguaje de acción y envío al dispositivo.	Aviso entregado y alerta registrada en el historial.
Consulta de información	Apertura de la aplicación por el productor	Verificación de la vigencia del dato en caché y, si corresponde, consulta al servicio antes de recurrir al último valor disponible.	Condiciones y alertas presentadas en pantalla.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2 Flujo lógico de actividades

El flujo general del sistema se divide en dos ciclos que operan de manera independiente. El ciclo iniciado por el usuario comprende la autenticación, la gestión de parcelas y la consulta de información; se ejecuta únicamente cuando la aplicación está abierta y responde a acciones directas. El ciclo automático comprende la adquisición de datos, la evaluación de umbrales y la notificación; se ejecuta en la nube cada tres horas, mediante una tarea programada de GitHub Actions, y no requiere que la aplicación esté activa.

El punto de encuentro entre ambos ciclos es la base de datos. El ciclo del usuario escribe las parcelas y sus parámetros, que el ciclo automático lee para saber qué consultar y contra qué umbrales comparar. El ciclo automático escribe las condiciones y las alertas, que el ciclo del usuario lee para mostrarlas en pantalla. Esta separación permite que la aplicación siga siendo útil aunque el productor la abra pocas veces por semana.

Dentro del ciclo automático, el flujo contempla dos salidas anticipadas. Si el servicio meteorológico no responde, el proceso termina sin generar alertas y se reintenta en el siguiente periodo, para evitar que la falta de datos produzca avisos incorrectos. Si una parcela no tiene cultivo asignado, la evaluación se limita a los umbrales generales y omite los específicos por etapa fenológica. La tabla 44 contrasta el comportamiento de ambos ciclos en los aspectos que determinan su ejecución.

Tabla 44. *Comparación entre el ciclo iniciado por el usuario y el ciclo automático del sistema.*

Aspecto	Ciclo iniciado por el usuario	Ciclo automático del sistema
Condición de ejecución	Se ejecuta únicamente mientras la aplicación permanece abierta.	Se ejecuta en la nube cada tres horas, aunque la aplicación esté cerrada.

Aspecto	Ciclo iniciado por el usuario	Ciclo automático del sistema
Disparador	Acción directa del productor sobre la interfaz.	Tarea programada de GitHub Actions.
Secuencia de actividades	Autenticación, gestión de parcelas y consulta de información.	Adquisición de datos, evaluación de umbrales y notificación.
Punto de decisión	Vigencia del dato en caché: si continúa vigente se presenta de inmediato; en caso contrario se consulta al servicio.	Validez de la respuesta del proveedor y superación del umbral definido para el cultivo y la etapa registrados.
Datos que escribe	Parcelas con sus coordenadas, cultivo y etapa fenológica.	Condiciones meteorológicas y alertas generadas.

Aspecto	Ciclo iniciado por el usuario	Ciclo automático del sistema
Datos que lee	Condiciones y alertas almacenadas por parcela.	Parcelas registradas y catálogo de umbrales agrometeorológicos.
Salida anticipada	Ausencia de conexión: se presenta el último dato sincronizado junto con su marca de vigencia.	Servicio sin respuesta: el proceso concluye sin generar alertas y se reintenta en el periodo siguiente. Parcela sin cultivo asignado: la evaluación se limita a los umbrales generales.
Resultado	Condiciones y alertas presentadas en pantalla.	Aviso entregado al dispositivo y alerta registrada en el historial.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.3 Interacciones entre los usuarios y el sistema

La interacción del productor con el sistema se concentra en cuatro momentos, diferenciados por su frecuencia y por el esfuerzo que exigen. El primero es el alta, que ocurre una sola vez y concentra la mayor carga de trabajo, razón por la cual se limita a un máximo de cuatro pasos por parcela.

El segundo es la recepción de una alerta, que no exige acción previa y constituye la interacción de mayor valor. El tercero es la consulta voluntaria y el cuarto el mantenimiento de

la información registrada. La tabla 45 detalla cada momento junto con la respuesta que el sistema entrega.

Tabla 45. *Momentos de interacción entre el productor y el sistema.*

Momento de interacción	Frecuencia	Acción del productor	Respuesta del sistema
Alta en el sistema	Una sola vez	Crea la cuenta y registra sus parcelas con nombre, cultivo y etapa fenológica.	Valida que las coordenadas se ubiquen dentro del departamento y asocia cada parcela a la cuenta.
Recepción de alerta	Variable, según las condiciones climáticas	No requiere acción previa; recibe el aviso en el dispositivo.	Emite la notificación con el tipo de riesgo y el nombre de la parcela afectada.
Consulta voluntaria	Variable, a criterio del productor	Abre la aplicación para revisar condiciones actuales, pronóstico o capas del mapa.	Presenta el dato vigente o el último almacenado, acompañado de su marca de actualización.
Mantenimiento	Ocasional	Cambia el cultivo registrado, ajusta sus preferencias de aviso o elimina un terreno.	Actualiza los parámetros de la parcela y recalcula los umbrales que le resultan aplicables; si la elimina, su historial se borra en el siguiente ciclo automático.

Fuente: Elaboración propia.

El sistema, por su parte, se comunica con el productor por dos canales. El canal principal es la notificación en el dispositivo, reservada para las alertas por umbral superado, que constituye el único mensaje capaz de alcanzar al usuario sin que esta abra la aplicación. El canal secundario es la propia interfaz, que informa el estado de los datos mediante el indicador de vigencia y la señalización de severidad por color e ícono.

Las interacciones con los servicios externos son transparentes para el productor y ocurren sin su intervención. El sistema se autentica, consulta el servicio meteorológico y solicita el envío de las notificaciones, y gestiona internamente los errores de comunicación para que ninguna falla técnica se traslade al usuario en forma de mensaje incomprensible. La tabla 46 resume estas interacciones y el tratamiento previsto ante cada fallo.

Tabla 46. *Interacciones del sistema con los servicios externos.*

Servicio externo	Operación	Momento de ejecución	Manejo del error
Firebase Authentication	Verificación de credenciales y emisión de la credencial de sesión.	Al iniciar sesión y al restaurar una sesión previamente activa.	Se solicita nuevamente la autenticación sin exponer el detalle técnico del fallo.
Cloud Firestore	Lectura y escritura de parcelas, condiciones y alertas.	En cada operación del productor y en cada ejecución del ciclo automático.	La operación se conserva en el almacenamiento local y se sincroniza al restablecerse la conexión.

Servicio externo	Operación	Momento de ejecución	Manejo del error
OpenWeather	Consulta de condiciones actuales, pronóstico y capas del mapa.	En el ciclo programado y en la consulta directa del productor.	Se recurre al dato almacenado en caché y se advierte que la información no está vigente.
Firebase Cloud Messaging	Envío de la notificación al dispositivo del productor.	Al generarse una alerta por umbral superado.	La alerta se replica dentro de la aplicación y queda registrada en el historial.

Fuente: Elaboración propia.

4.8 Criterios de aceptación y definición de listo

Este apartado establece cómo se determina que un trabajo está efectivamente terminado. Sin una definición explícita, un elemento puede darse por concluido cuando funciona en el equipo de desarrollo, pero falla en el dispositivo del productor, que es donde importa.

4.8.1 Criterios de aceptación por historia de usuario

Cada historia de la pila incorpora sus propios criterios de aceptación, redactados en forma verificable y no interpretativa. Un criterio válido describe una condición observable, como que las coordenadas se guarden con al menos cuatro decimales o que la respuesta se presente en un tiempo no mayor a cinco segundos. Un criterio inválido describe una cualidad, como que la pantalla sea intuitiva o el rendimiento adecuado.

Los criterios se organizan en tres grupos. Los de comportamiento normal describen lo que ocurre cuando todo funciona como se espera. Los de comportamiento alterno describen las rutas válidas pero distintas a la principal, como registrar una parcela por ubicación del dispositivo en lugar de por mapa. Los de comportamiento ante error describen la respuesta del

sistema cuando algo falla: sin conexión, sin permisos de ubicación, con coordenadas fuera del departamento o con el servicio meteorológico caído.

El tercer grupo recibe atención particular en este proyecto, porque las condiciones de campo hacen que las rutas de error sean frecuentes y no excepcionales. Una historia sin criterios de error definidos no se considera lista para ingresar a una iteración.

4.8.2 Condiciones para considerar un requerimiento listo

Se establece una definición de listo común a todos los elementos, que complementa los criterios particulares de cada historia. Un elemento se considera terminado únicamente cuando satisface de forma simultánea las seis condiciones siguientes.

Tabla 47. *Definición de listo aplicable a todos los elementos de la pila.*

Condición	Descripción
Cumplimiento funcional	La funcionalidad satisface todos sus criterios de aceptación, incluidos los de comportamiento ante error.
Integración	El código se incorporó a la rama principal del repositorio y no altera funcionalidades previamente terminadas.

Prueba en dispositivo real	La funcionalidad se verificó en un equipo físico de gama media con Android 8.0 o superior, y no únicamente en emulador.
Prueba de conectividad	Se comprobó su comportamiento con conexión estable, con conexión intermitente y sin conexión.
Lenguaje de la interfaz	Los textos visibles se redactaron en español, en lenguaje llano y sin terminología técnica.
Consumo de servicios	La funcionalidad no introduce consultas adicionales que comprometan los límites de la cuota gratuita.

Fuente: Elaboración propia.

Un elemento que cumple sus criterios funcionales, pero incumple alguna de estas condiciones regresa a la pila del producto y no se contabiliza en el avance de la iteración. De esta forma, el avance que se reporta en cada revisión refleja únicamente trabajo terminado y verificado.

4.8.3 Validaciones y restricciones

Las validaciones de entrada se aplican en el punto más cercano al usuario, para evitar que datos incorrectos lleguen a almacenarse. En el registro de parcelas se valida que las coordenadas se ubiquen dentro de los límites del departamento, que el nombre no esté vacío ni duplicado dentro de la misma cuenta, y que el área declarada sea un valor numérico positivo. En el registro de cuenta se valida el formato del correo, la longitud mínima de la contraseña y, si se escribe, el número de teléfono, que solo sirve como dato de contacto.

Las validaciones de datos externos se aplican sobre las respuestas del servicio meteorológico antes de almacenarlas. Se descartan las respuestas incompletas, las que contienen valores fuera de los rangos físicamente posibles para la región y las que corresponden a un momento anterior al último dato ya registrado (Quezada, Mercado y Sandoval, 2021).

Un dato descartado no genera alerta y conserva vigente el registro previo. Tampoco se emite ninguna alerta si el valor pronosticado no alcanza los límites definidos en la Tabla 31. Las validaciones se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 48. *Validaciones del sistema.*

Código	Punto de aplicación	Validación	Respuesta ante incumplimiento
VA-01	Registro de parcela	Coordenadas dentro del departamento de Jalapa.	Advierte al usuario y no permite continuar.
VA-02	Registro de parcela	Nombre no vacío ni duplicado en la misma cuenta.	Solicita corregir el nombre.
VA-03	Registro de parcela	Área declarada numérica y positiva.	Marca el campo como inválido.
VA-04	Registro de cuenta	Formato válido del correo electrónico.	Solicita corregir el dato.
VA-05	Registro de cuenta	Longitud mínima de la contraseña.	Impide completar el registro.
VA-06	Datos meteorológicos	Respuesta completa del servicio.	Se descarta y se conserva el dato previo.

Código	Punto de aplicación	Validación	Respuesta ante incumplimiento
VA-07	Datos meteorológicos	Valores dentro de los rangos posibles para la región.	Se descarta y no genera alerta.
VA-08	Datos meteorológicos	Momento posterior al último dato registrado.	Se descarta.

Fuente: Elaboración propia.

Las restricciones de operación limitan lo que el sistema puede hacer aunque técnicamente sea posible. No se permite el registro de parcelas sin cuenta asociada, no se permite consultar parcelas de otro usuario, no se emite más de una notificación por el mismo evento y parcela dentro de la ventana definida, y no se conservan datos de ubicación fuera del registro de las parcelas creadas por el propio productor. Las restricciones de operación se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 49. *Restricciones de operación del sistema.*

Código	Restricción
RO-01	No se registran parcelas sin una cuenta asociada.
RO-02	No se consultan parcelas de otro usuario.
RO-03	No se emite más de una notificación por el mismo evento y parcela dentro de la ventana definida.
RO-04	No se conservan datos de ubicación fuera de las parcelas registradas por el propio productor.

Fuente: Elaboración propia.

4.9 Riesgos y consideraciones del análisis

El análisis identifica los riesgos capaces de comprometer el alcance, el funcionamiento o la utilidad del sistema, clasificados según su origen. Reconocerlos en esta etapa permite incorporar desde el diseño las medidas que los contienen, en lugar de reaccionar cuando ya se materializaron.

La valoración de cada riesgo combina dos criterios. La probabilidad estima qué tan factible resulta que el riesgo se materialice durante el desarrollo o la operación, y se clasifica

como baja, media o alta. El impacto estima la magnitud del daño sobre el alcance, el funcionamiento o la utilidad del sistema, y se clasifica como bajo, medio o alto.

La severidad resulta de la combinación de ambos y determina el orden en que se atienden: los riesgos de severidad crítica se contienen desde el diseño, mientras que los de severidad baja se documentan y se vigilan durante las iteraciones.

4.9.1 Riesgos técnicos

Los riesgos técnicos derivan de las tecnologías empleadas, de los servicios externos de los que depende el sistema y de las características de los dispositivos en que se ejecuta. La Tabla 50 presenta cada riesgo con su probabilidad, su impacto y la severidad que resulta de combinar ambos.

Tabla 50. *Evaluación de los riesgos técnicos.*

Código	Riesgo identificado	Probabilidad	Impacto	Severidad
RT-01	Agotamiento de la cuota gratuita de los servicios externos por el crecimiento en el número de parcelas registradas.	Media	Alto	Alta
RT-02	Entrega no confiable de las notificaciones por las políticas de ahorro de energía de los dispositivos de gama baja.	Alta	Alto	Crítica

Código	Riesgo identificado	Probabilidad	Impacto	Severidad
RT-03	Imprecisión de los datos meteorológicos frente a lo que ocurre efectivamente en la parcela.	Alta	Medio	Alta
RT-04	Degradación del rendimiento en dispositivos de gama baja al cargar el mapa junto con las capas de precipitación.	Media	Medio	Media

Fuente: Elaboración propia.

4.9.2 Riesgos de requerimientos

Los riesgos de requerimientos se relacionan con la definición del alcance y con la precisión con que las necesidades identificadas se trasladaron a historias de usuario y umbrales de alerta.

Tabla 51. *Evaluación de los riesgos de requerimientos.*

Código	Riesgo identificado	Probabilidad	Impacto	Severidad
RR-01	Calibración incorrecta de los umbrales agrometeorológicos por la ausencia de mediciones locales.	Alta	Alto	Crítica

Código	Riesgo identificado	Probabilidad	Impacto	Severidad
RR-02	Aparición de necesidades no previstas durante las pruebas en campo.	Media	Medio	Media
RR-03	Ambigüedad en los criterios de aceptación de las historias relacionadas con el funcionamiento sin conexión.	Media	Bajo	Baja

Fuente: Elaboración propia.

4.9.3 Riesgos de comunicación con las partes interesadas

Los riesgos de comunicación afectan la relación entre el sistema y quienes lo utilizan, y se manifiestan cuando la información entregada no se traduce en una decisión útil para el productor.

Tabla 52. *Evaluación de los riesgos de comunicación.*

Código	Riesgo identificado	Probabilidad	Impacto	Severidad
RC-01	Distancia entre el lenguaje técnico y el lenguaje del productor, que impide traducir la alerta en una decisión.	Media	Alto	Alta

Código	Riesgo identificado	Probabilidad	Impacto	Severidad
RC-02	Disponibilidad limitada de los productores para participar en las revisiones por los ciclos agrícolas y las distancias.	Alta	Medio	Alta
RC-03	Expectativa desalineada respecto al alcance del sistema, interpretado como pronóstico infalible o aviso oficial.	Media	Alto	Alta

Fuente: Elaboración propia.

4.9.4 Estrategias de mitigación

Cada riesgo identificado se asocia a una medida concreta que se incorpora al diseño desde el análisis, de modo que su contención no dependa de una reacción posterior a que el riesgo se materialice. Las medidas se ordenan según el código asignado a cada riesgo en las tablas anteriores.

Tabla 53. *Estrategias de mitigación de los riesgos identificados.*

Código	Estrategia de mitigación
RT-01	Agrupar las peticiones de parcelas geográficamente cercanas, almacenar en caché la última respuesta, limitar la frecuencia de sincronización y monitorear el consumo acumulado durante las pruebas.

Código	Estrategia de mitigación
RT-02	Replicar toda alerta dentro de la aplicación y en el historial, y documentar el comportamiento por modelo de dispositivo durante la validación.
RT-03	Hacer explícita la procedencia y la vigencia de la información, y acompañar cada alerta de la variable y el valor que la originaron.
RT-04	Mostrar una sola capa a la vez y no cargar ninguna hasta que el productor la elija.
RR-01	Definir el catálogo de umbrales como configuración almacenada, de modo que los valores se ajusten con la retroalimentación de campo sin recompilar la aplicación.

Código	Estrategia de mitigación
RR-02	Reservar capacidad en las iteraciones finales e incorporar los elementos nuevos mediante el refinamiento de la pila del producto.
RR-03	Definir en el refinamiento el umbral de vigencia de los datos antes de que la historia ingrese a una iteración.
RC-01	Redactar las alertas en términos de acción y someterlas a revisión con productores antes de su incorporación definitiva.
RC-02	Distribuir versiones de prueba por instalación directa y recolectar las observaciones de forma asincrónica.

Código	Estrategia de mitigación
RC-03	Mantener en la interfaz una indicación permanente de que la información es de apoyo a la decisión y no sustituye los comunicados institucionales.

Fuente: Elaboración propia.

4.10 Factibilidades del sistema

El análisis de factibilidad determina si el sistema puede construirse y operarse en las condiciones reales del proyecto. Se evalúa desde tres perspectivas complementarias, y el incumplimiento de cualquiera de ellas invalidaría la propuesta con independencia de las otras dos.

4.10.1 Factibilidad técnica

El sistema es técnicamente viable. Las tecnologías seleccionadas están disponibles, son estables y cuentan con documentación oficial y comunidad activa. Flutter permite compilar para Android desde un único código base, Firebase provee autenticación, base de datos y mensajería sin necesidad de administrar servidores propios, y el servicio de OpenWeather ofrece cobertura sobre el departamento con acceso gratuito.

Los requisitos de equipo para el desarrollo se cubren con una computadora de gama media capaz de ejecutar el entorno de desarrollo y el emulador, y con al menos un dispositivo Android físico de gama media para las pruebas, condiciones ya satisfechas.

Del lado del usuario, la encuesta confirmó que la tenencia de teléfono inteligente con Android está generalizada entre los productores, y que la conectividad, aunque intermitente, resulta suficiente para la sincronización periódica que el sistema requiere. El diseño con almacenamiento en caché y modo sin conexión atiende precisamente las zonas de cobertura irregular.

La principal limitación técnica es la ausencia de estaciones meteorológicas locales que permitan contrastar los datos del proveedor. No impide la construcción del sistema, pero acota la precisión alcanzable y obliga a hacerla explícita ante el usuario. La tabla siguiente detalla las especificaciones técnicas mínimas, tanto para el desarrollo del sistema como para su implementación en el dispositivo del productor.

Tabla 54. *Especificaciones técnicas para el desarrollo y la implementación.*

Componente	Desarrollo	Implementación (usuario)
Equipo	Computadora de gama media	Teléfono inteligente de gama media o baja
Procesador	Intel Core i5 de octava generación o equivalente	Octa-core o equivalente
Memoria RAM	8 GB como mínimo, 16 GB recomendado	2 GB como mínimo
Almacenamiento	Unidad de estado sólido con 20 GB libres	100 MB libres
Sistema operativo	Windows 10 u 11 de 64 bits, o Linux	Android 8.0 o superior
Software	Flutter SDK, Dart, Android Studio, Visual Studio Code y Git	Servicios de Google Play
Hardware adicional	Dispositivo Android físico para pruebas	Receptor GPS integrado
Conectividad	Internet de banda ancha	Datos móviles o red inalámbrica; admite conexión intermitente
Servicios	Cuentas de Firebase, OpenWeather y GitHub	Ninguno adicional

Fuente: Elaboración propia.

4.10.2 Factibilidad económica

El sistema es económicamente viable bajo la restricción de bajo costo establecida para el proyecto. Todas las herramientas de desarrollo empleadas son gratuitas: el marco de trabajo,

el lenguaje, el entorno de desarrollo, el control de versiones y el alojamiento del repositorio. No se requiere la adquisición de licencias.

Los servicios de operación se mantienen dentro de sus planes gratuitos. Firebase, en el plan Spark, cubre sin costo la autenticación, el almacenamiento en la base de datos y el envío de notificaciones para el volumen previsto durante la validación; el servicio meteorológico ofrece una cuota diaria de consultas suficiente para las parcelas contempladas; el ciclo automático corre en GitHub Actions y los mapas base de Esri no requieren clave ni pago.

El componente de mayor peso en la valoración no es el gasto en servicios sino la mano de obra. El desarrollo se distribuye en seis iteraciones de dos semanas con una dedicación estimada de veinte horas semanales, lo que representa doscientas cuarenta horas de trabajo entre análisis, codificación, pruebas y documentación.

Valorizadas a una tarifa referencial de cincuenta quetzales por hora para desarrollo móvil en el mercado local, el esfuerzo equivale a doce mil quetzales. Este monto no constituye un desembolso efectivo, porque el desarrollo se ejecuta con recursos propios, pero expresa el valor real del trabajo invertido.

A ese valor se agrega un margen de contingencia de quinientos quetzales, previsto para cubrir el eventual consumo de algún servicio por encima de su cuota gratuita si el volumen de parcelas registradas supera lo estimado. Con ese margen incluido, el costo total del proyecto asciende a doce mil quinientos quetzales, cifra que confirma la viabilidad económica de la propuesta. El detalle de los costos, incluidos los rubros sin costo, se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 55. *Costos del proyecto.*

Rubro	Concepto	Cantidad	Costo unitario	Subtotal
Software	Flutter, Dart, Android Studio, Visual Studio Code y Git	—	Q0.00	Q0.00
Servicios	Repositorio en GitHub	1	Q0.00	Q0.00

Rubro	Concepto	Cantidad	Costo unitario	Subtotal
Servicios	Firebase, plan Spark: autenticación, Firestore y mensajería	1	Q0.00	Q0.00
Servicios	OpenWeather, plan gratuito	1	Q0.00	Q0.00
Servicios	GitHub Actions para el ciclo automático	1	Q0.00	Q0.00
Servicios	Mapas base de Esri con flutter_map	1	Q0.00	Q0.00
Equipo	Computadora de desarrollo (existente)	1	Q0.00	Q0.00
Equipo	Dispositivo Android de pruebas (existente)	1	Q0.00	Q0.00
Mano de obra	Análisis, codificación, pruebas y documentación	240 h	Q50.00 por hora	Q12,000.00
Contingencia	Consumo por encima de las cuotas gratuitas	1	Q500.00	Q500.00
			Total	**Q12,500.00**

Fuente: Elaboración propia.

4.10.3 Factibilidad operativa

El sistema es operativamente viable. La encuesta evidenció una intención de adopción elevada y una disposición mayoritaria a actuar ante una alerta anticipada, lo que indica que la herramienta responde a una necesidad reconocida por los propios productores y no a una carencia supuesta desde fuera.

El nivel de familiaridad tecnológica de los usuarios, concentrado en mensajería y redes sociales, resulta compatible con la operación prevista, siempre que se respeten las decisiones de diseño adoptadas: pocos pasos por tarea, textos breves, ausencia de terminología técnica y

señalización por color e ícono. El registro de parcelas, que es la tarea de mayor complejidad, ocurre una sola vez y admite acompañamiento presencial durante la fase de validación.

La operación cotidiana del sistema no exige intervención del productor, porque la adquisición de datos y la evaluación de umbrales se ejecutan de forma automática. Esto reduce la barrera de adopción, pues el valor principal se entrega sin que el usuario deba recordar consultar la aplicación.

La disposición mayoritaria a recibir capacitación técnica registrada en la encuesta sugiere que el despliegue debe acompañarse de una inducción breve, orientada al registro inicial de parcelas y a la interpretación de los niveles de severidad de las alertas. La tabla siguiente relaciona las habilidades que el sistema exige al usuario con los resultados obtenidos en la muestra encuestada.

Tabla 56. *Habilidades requeridas del usuario y su presencia en la muestra.*

Habilidad requerida	Evidencia en la encuesta	Presencia en la muestra
Poseer y manejar un teléfono con Android	El 89.3 % tiene teléfono inteligente propio (Tabla 8).	Sí, en su mayoría.
Usar aplicaciones y abrir notificaciones	El 49.2 % consulta el clima por redes sociales (Tabla 10).	Parcialmente; se refuerza con la inducción.
Leer textos breves	El 87.7 % cuenta con algún nivel educativo y el 12.3 % con ninguno (Tabla 5).	En su mayoría; se apoya con íconos y colores.
Conectarse a internet móvil	El 94.2 % reporta señal buena o regular en la parcela (Tabla 9).	Sí.
Ubicar su parcela en un mapa	El 76.2 % considera que el mapa mejoraría mucho su planificación (Tabla 14).	Percepción favorable; el registro admite acompañamiento.
Aprender funciones nuevas	El 92.7 % aceptaría capacitación, aunque el 23.0 % solo si es breve y sencilla (Tabla 15).	Sí, con una inducción corta.

Fuente: Elaboración propia.

En conjunto, la muestra reúne las habilidades básicas que el sistema exige. Las brechas identificadas, principalmente en lectura y manejo de aplicaciones, se atienden con el diseño visual adoptado y con la inducción prevista para el despliegue.

CAPÍTULO V

DISEÑO DEL SISTEMA

El capítulo anterior estableció qué debe hacer el sistema y bajo qué condiciones; este describe cómo se construye. El contenido va de lo general a lo particular: primero la arquitectura, los componentes con sus interfaces y la base de datos; después la interfaz de usuario y la seguridad; y por último los diagramas de comportamiento, la revisión del diseño durante los sprints y los procesos de negocio antes y después del sistema.

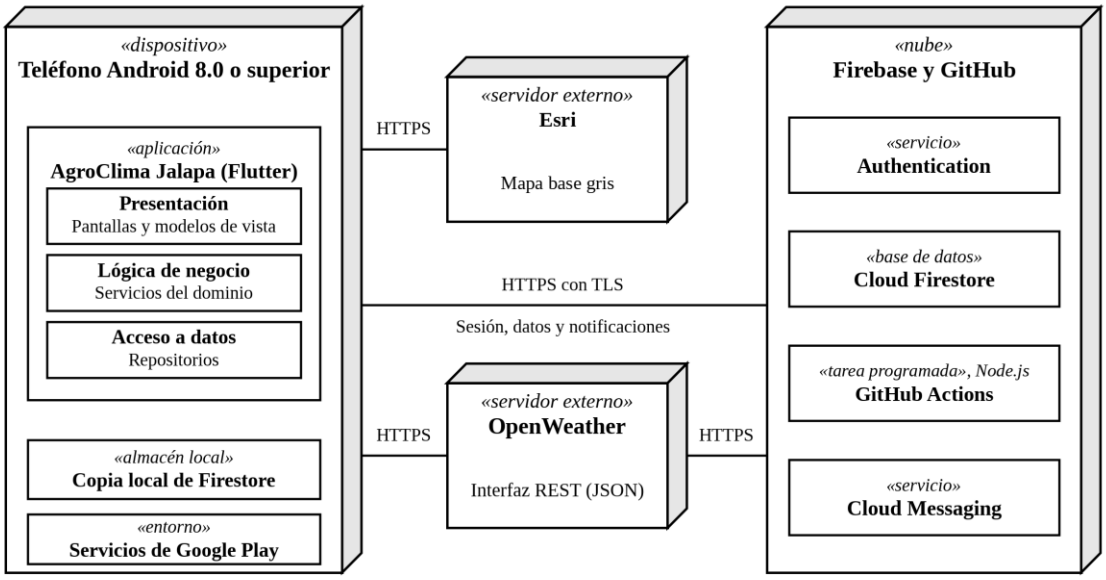
5.1 Arquitectura del sistema

La arquitectura define qué partes componen el sistema, dónde se ejecuta cada una y cómo se relacionan entre sí. Se presenta primero una vista general organizada por ámbitos de ejecución y después el detalle de los componentes principales y de la forma en que se encadenan para atender las consultas del productor y el ciclo automático.

5.1.1 Vista general de la arquitectura

El sistema sigue un esquema cliente-servidor sin servidor propio. Las funciones que normalmente se ocuparían en esa capa, como la autenticación, la persistencia y el envío de notificaciones, se delegan en servicios administrados de Firebase, que la aplicación consume desde sus bibliotecas oficiales, y la ejecución del ciclo automático en una tarea programada de GitHub Actions. La Figura 26 muestra dónde se ejecuta cada parte y cómo se comunican.

Figura 26. *Diagrama de despliegue del sistema.*



Fuente: Elaboración propia.

Dentro del dispositivo la aplicación se divide en tres capas. La presentación contiene las pantallas, los componentes visuales y los modelos de vista, y es la única que maneja elementos gráficos; el estado de cada pantalla se gestiona con el paquete Provider, que avisa a la interfaz cuando un dato cambia.

La lógica de negocio agrupa las operaciones propias del dominio, como validar que una parcela caiga dentro del departamento o decidir si un dato guardado sigue vigente. El acceso a datos concentra los repositorios, únicos autorizados para comunicarse con Firestore, con el proveedor meteorológico o con el almacenamiento local.

Fuera del dispositivo el sistema se apoya en tres servicios de Firebase, en su plan gratuito Spark: Authentication para la identidad, Cloud Firestore para la base de datos y Cloud Messaging para la mensajería.

El ciclo automático de adquisición de datos y evaluación de umbrales lo ejecuta una tarea programada de GitHub Actions cada tres horas, de modo que ese proceso ocurre en la nube y no depende de que la aplicación esté abierta; sus claves se guardan como secretos de GitHub.

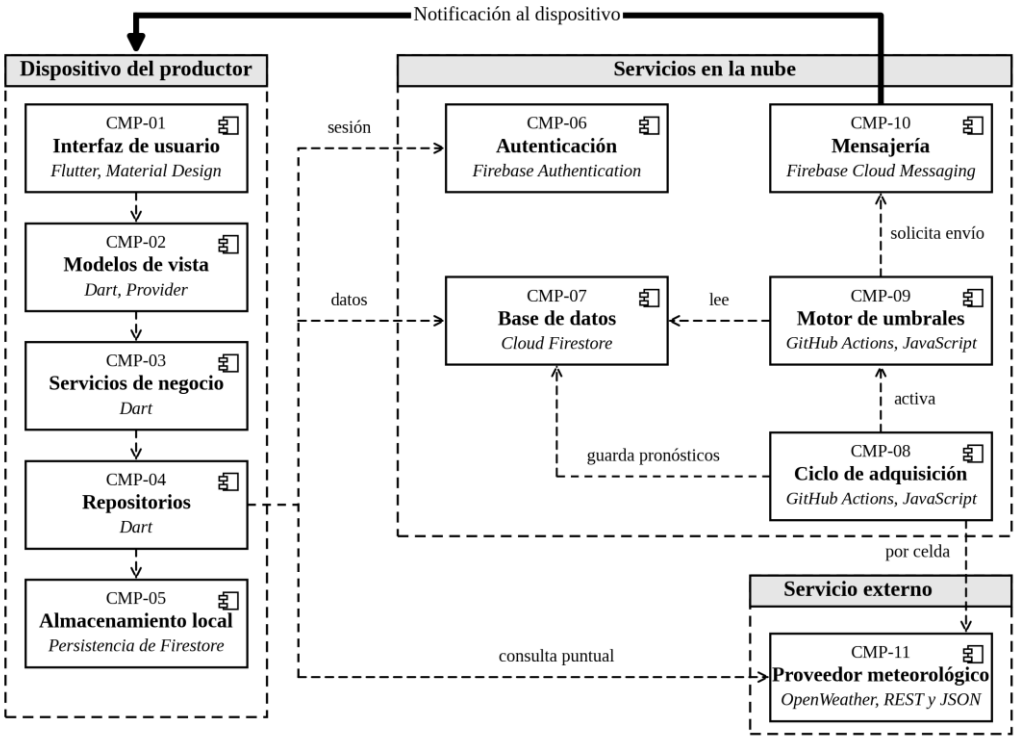
A estos servicios en la nube se suman dos servicios externos: OpenWeather, de donde proviene la información meteorológica, y el mapa base gris de Esri, que la aplicación muestra

con el paquete flutter_map, sin clave ni costo, y sobre el que el productor marca sus terrenos. Todas las conexiones viajan por HTTPS y el teléfono necesita los servicios de Google Play para recibir los avisos (RNF-24).

5.1.2 Componentes principales y sus interacciones

El sistema se compone de once elementos repartidos entre el dispositivo del productor, los servicios administrados y los servicios externos. La Figura 27 presenta cada uno con su código y la tecnología que lo implementa; las flechas discontinuas indican de qué componente depende cada uno.

Figura 27. *Diagrama de componentes del sistema.*



Fuente: Elaboración propia.

Estos componentes se encadenan de dos formas distintas. Cuando el productor pide información, la pantalla consulta a su modelo de vista, este llama al servicio de negocio y el servicio delega en el repositorio. El repositorio revisa primero el almacenamiento local y evalúa la vigencia de lo que encuentra: si el dato sirve lo devuelve de inmediato y solo cuando ha caducado acude a la red.

El ciclo automático sigue otro camino. El ciclo de adquisición se activa cada tres horas, lee las parcelas registradas, las agrupa por celda geográfica y consulta al proveedor una sola vez por celda. Los datos obtenidos quedan en Firestore y el motor de umbrales los compara contra los criterios del cultivo y la etapa de cada parcela. Si un criterio se supera se genera la alerta, se verifica que no exista otra equivalente y se solicita el envío. En la misma vuelta se borran los datos de las parcelas y de las cuentas que el productor eliminó, por lo que ese borrado puede tardar hasta unas tres horas sin que el productor lo note.

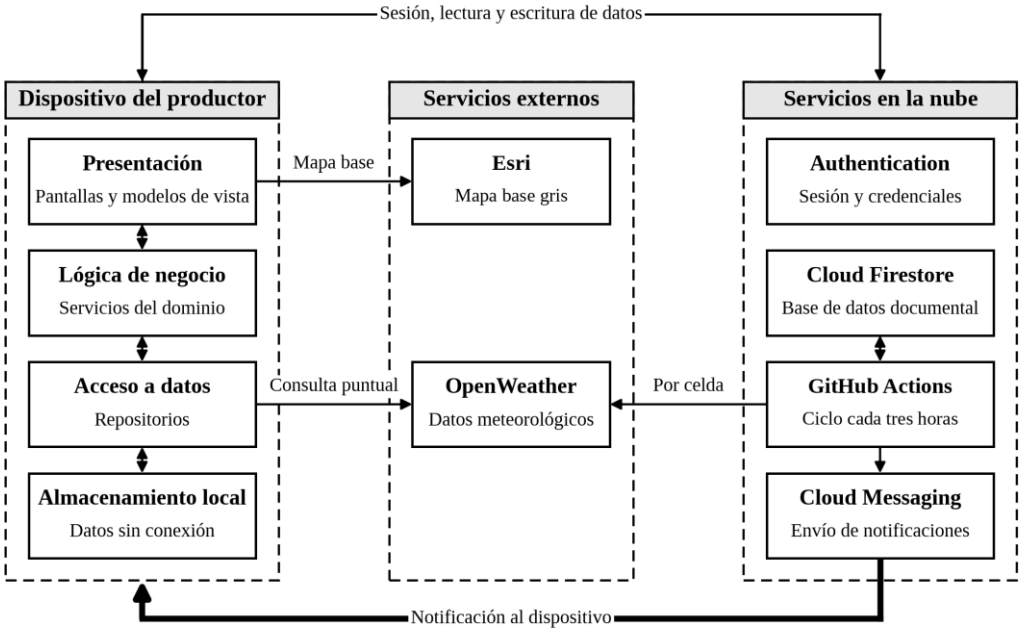
5.2 Diseño de arquitectura técnica

Este apartado concreta la arquitectura en su representación gráfica, en los patrones que estructuran el código y en las condiciones bajo las cuales el sistema se conecta con los servicios de los que depende.

5.2.1 Diagrama de arquitectura

La Figura 28 representa el sistema en tres ámbitos de ejecución: el dispositivo del productor, los servicios externos y los servicios en la nube. Cada ámbito aparece como un grupo delimitado por una línea discontinua. Las flechas finas indican el sentido de las consultas y la flecha grande marca el único canal por el que el sistema llega al productor sin que este abra la aplicación.

Figura 28. *Arquitectura general del sistema.*



Fuente: Elaboración propia.

En el dispositivo las capas se ordenan de la presentación al acceso a datos y cada una se comunica solo con la inmediata, según el estilo de arquitectura en capas. Los repositorios son el único punto de salida: de ellos parten la consulta puntual a OpenWeather y la conexión con Firebase, mientras que la presentación se conecta directamente con el mapa base de Esri.

En la nube, la tarea de GitHub Actions ejecuta el ciclo automático: consulta a OpenWeather una vez por celda, guarda los pronósticos en Cloud Firestore y los compara con el catálogo de umbrales. Cuando se genera una alerta, pide su envío a Cloud Messaging, que la entrega al teléfono por la línea gruesa inferior.

5.2.2 Patrones de diseño utilizados

El diseño interno se apoya en un conjunto reducido de patrones. Un patrón de diseño describe una solución probada para un problema que se repite en un contexto determinado y le asigna un nombre que facilita referirse a ella. En este sistema se usan cinco: observador, estrategia, fachada, repositorio y objeto de transferencia de datos. La Tabla 57 indica dónde se aplica cada uno y qué resuelve.

Tabla 57. *Patrones de diseño utilizados en el sistema.*

Patrón	Dónde se aplica	Propósito
Modelo–Vista–ModeloDeVista	Capa de presentación	Separa el estado de la pantalla de su representación visual, de modo que la lógica pueda probarse sin dibujar la interfaz.
Repositorio	Capa de acceso a datos	Oculta el origen del dato tras una interfaz única y permite cambiar de proveedor sin afectar las capas superiores (RNF-20).
Proveedor de dependencias	Toda la aplicación	Entrega a cada componente las instancias que necesita y facilita sustituirlas por dobles de prueba.
Observador	Presentación y acceso a datos	Permite que la interfaz reaccione a los cambios conforme ocurren, en lugar de consultar de forma repetida.
Estrategia	Motor de umbrales	Encapsula la regla de comparación de cada variable, de modo que agregar un criterio no obligue a modificar los existentes.
Fachada	Clientes de servicios externos	Concentra en una clase la construcción de las peticiones, el manejo de errores y la traducción de la respuesta.
Caché primero	Repositorios	Resuelve toda consulta contra el almacenamiento local antes de acudir a la red y devuelve el último valor ante un fallo (RNF-08).
Objeto de transferencia de datos	Modelos del dominio	Aísla la estructura del documento almacenado de la de los objetos que la aplicación manipula.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Consideraciones de integración

La integración con servicios de terceros concentra el mayor riesgo técnico del sistema, porque son los puntos sobre los que el proyecto no tiene control. Las condiciones que siguen buscan que ninguna falla ajena llegue al productor en forma de pantalla vacía o de mensaje incomprensible.

El consumo del proveedor meteorológico se administra por agrupación geográfica. Cada parcela recibe al registrarse un identificador de celda derivado del redondeo de sus coordenadas a 0.05 grados, de modo que las parcelas que están a menos de unos 5.5 kilómetros comparten la consulta y se respeta la cuota gratuita. El ciclo de adquisición hace una sola consulta por celda con parcelas activas. Como la información del proveedor corresponde a una retícula y no a una medición puntual (RT-02), las parcelas de una misma celda comparten el mismo dato de origen.

La Tabla 58 resume, para cada servicio, el mecanismo de conexión, la operación que se realiza con su frecuencia y el control que se aplica cuando el servicio falla o responde de forma inesperada.

Tabla 58. *Condiciones de integración con los servicios externos.*

Servicio	Mecanismo	Operación y frecuencia	Control aplicado
Firebase Authentication	Biblioteca oficial	Verificación de credenciales al iniciar sesión y renovación de la credencial.	Sesión persistente en el dispositivo; ante un fallo se pide la autenticación sin exponer el detalle técnico.
Cloud Firestore	Biblioteca oficial con persistencia sin conexión	Lectura y escritura en cada operación y en cada ejecución del ciclo.	Reglas de seguridad por propietario; las escrituras pendientes se guardan y se sincronizan al volver la señal.
GitHub Actions	Tarea programada con las claves guardadas como secretos	Adquisición, evaluación, generación de alertas y borrado de datos eliminados, cada tres horas.	Reintento con espera creciente; si la respuesta no es válida el ciclo termina sin generar alertas.
Cloud Messaging	Biblioteca oficial y envío desde la nube	Un envío por alerta generada.	Registro del dispositivo por usuario; la alerta se replica en la aplicación aunque el envío falle.
OpenWeather	REST sobre protocolo seguro, respuesta en JSON	Una consulta por celda en el ciclo y consultas puntuales a pedido del productor.	Agrupación por celda, marca de vigencia, control de cuota diaria y uso del dato en caché ante error.
Mapa base de Esri	Teselas mostradas con el paquete flutter_map	Carga del mapa al abrirlo y al registrar una parcela.	No requiere clave; si no carga, el registro por ubicación del dispositivo sigue disponible.

Fuente: Elaboración propia.

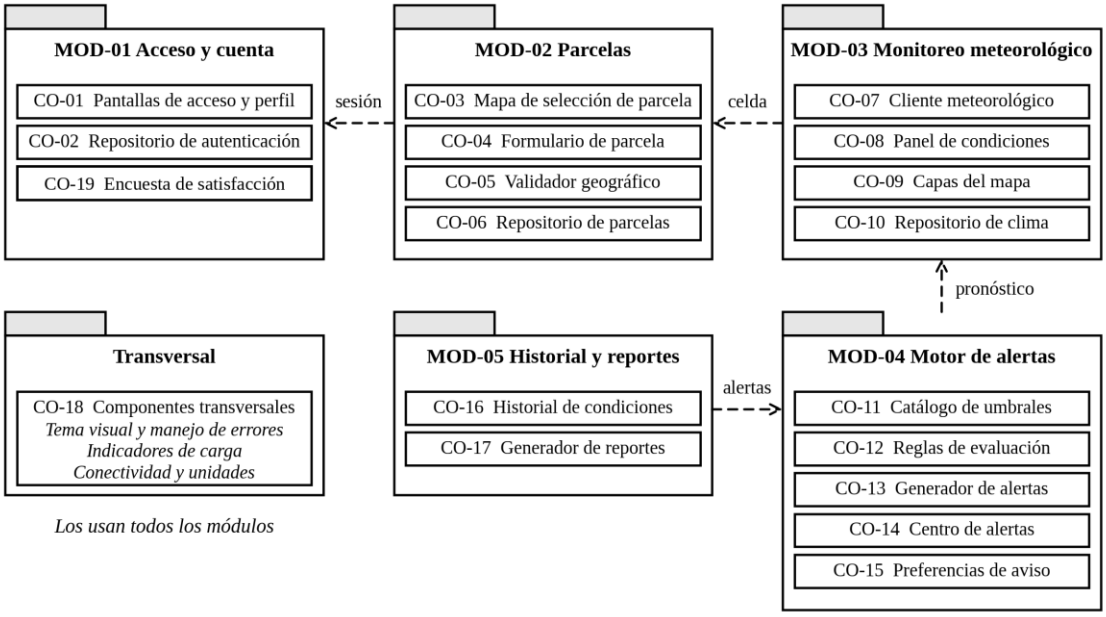
5.3 Diseño de componentes y módulos

Este apartado descompone la arquitectura en las piezas que efectivamente se construyen. Un componente es una unidad con una responsabilidad delimitada y un contrato de uso; un módulo agrupa varios componentes alrededor de una capacidad del producto y corresponde, en este sistema, a las épicas del apartado 4.4.

5.3.1 Identificación de componentes

Los componentes se organizan en cinco módulos, uno por épica, y en un grupo transversal que todos utilizan. La Figura 29 muestra cada módulo como un paquete con sus componentes. Las flechas discontinuas indican qué toma un módulo de otro: parcelas usa la sesión, el monitoreo usa la celda de cada parcela, el motor de alertas usa el pronóstico y el historial usa las alertas.

Figura 29. *Módulos del sistema y sus componentes.*



Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Descripción de módulos

El módulo de acceso y gestión de cuenta (MOD-01) resuelve la identidad del usuario. Obtiene y mantiene una sesión válida y expone el identificador del que dependen todas las consultas posteriores. No guarda ni transporta contraseñas, conforme al requerimiento RNF-01: la verificación ocurre en el servicio de autenticación y el dispositivo solo conserva la credencial de sesión. En la versión 1.1.0 se le agregó la encuesta de opinión, que se abre desde el perfil y guarda una sola respuesta por productor.

El módulo de gestión geoespacial de parcelas (MOD-02) combina la base cartográfica, los servicios de ubicación y la captura de datos. El registro se reparte en cuatro pasos, dentro del límite del requerimiento RNF-12, y admite marcar el terreno por selección directa sobre el mapa, por la búsqueda de un lugar con el buscador del propio teléfono o por lectura de la ubicación actual. El punto es obligatorio: hay que mover el marcador, buscar el lugar o usar la ubicación, para que nadie guarde la parcela en el centro del pueblo por error.

En todos los casos las coordenadas pasan por el validador, que usa los límites de los siete municipios tomados de geoBoundaries, antes de permitir el avance, y se guardan con al menos

cuatro decimales. El módulo asigna además a cada parcela su identificador de celda, que el ciclo automático usa para agrupar consultas.

El módulo de monitoreo meteorológico (MOD-03) atiende toda la información que proviene del proveedor externo. Su pieza central es el repositorio de clima, que en cada consulta decide si el dato guardado sigue vigente o si debe acudir a la red. El clima actual se considera vigente durante sesenta minutos y el pronóstico durante tres horas. Ante cualquier fallo, o pasado ese tiempo sin poder actualizar, devuelve el último valor disponible con el aviso «Datos del…», de modo que la aplicación no muestra pantallas vacías por falta de señal.

El módulo del motor de alertas (MOD-04) se reparte entre la nube y el dispositivo. En la nube residen el catálogo, las reglas de evaluación y el generador; en el teléfono, el centro de alertas, el detalle y las preferencias. El detalle muestra el valor pronosticado junto al umbral que lo activó, como establece el requerimiento RNF-14. Las preferencias filtran el envío y no la generación: la alerta se registra en el historial aunque el productor haya desactivado su notificación. Un tipo de aviso apagado no suena nunca, ni siquiera en peligro, y durante el horario de silencio nocturno solo suenan los avisos de peligro.

El módulo de historial y reportes (MOD-05) trabaja solo con información ya almacenada y no consulta servicios externos. Recupera el registro diario de cada parcela y el conjunto de alertas emitidas, y los resume por período en reportes que el productor puede consultar en pantalla, guardar en PDF, Excel o CSV, o imprimir.

Los componentes transversales no pertenecen a ninguna épica y los utilizan todos los módulos. Agrupan el tema visual, el manejo uniforme de errores, los indicadores de carga, la detección de conectividad y la conversión entre grados centígrados y Fahrenheit y entre manzanas y hectáreas.

En el repositorio de código esta organización se refleja en la estructura de carpetas, con directorios separados para modelos, repositorios, servicios, pantallas por módulo, componentes visuales reutilizables y utilidades, y con el código del ciclo automático, que ejecuta GitHub Actions, en un directorio independiente.

5.3.3 Diseño de interfaces de componentes

Una interfaz es el contrato que un componente ofrece a los demás: qué operaciones expone y qué se obtiene de cada una, sin revelar cómo se implementan. Se distinguen dos grupos: las interfaces internas, que conectan piezas construidas dentro del proyecto, y las externas, que conectan el sistema con servicios de terceros.

5.3.3.1 Interfaces internas

Comunican las capas de la aplicación entre sí. Todas se definen como contratos abstractos y se implementan aparte, de modo que cualquiera pueda sustituirse por una versión de prueba sin alterar a quien la consume. La Tabla 59 presenta cada interfaz con las operaciones que expone, el componente que la consume y el que la implementa.

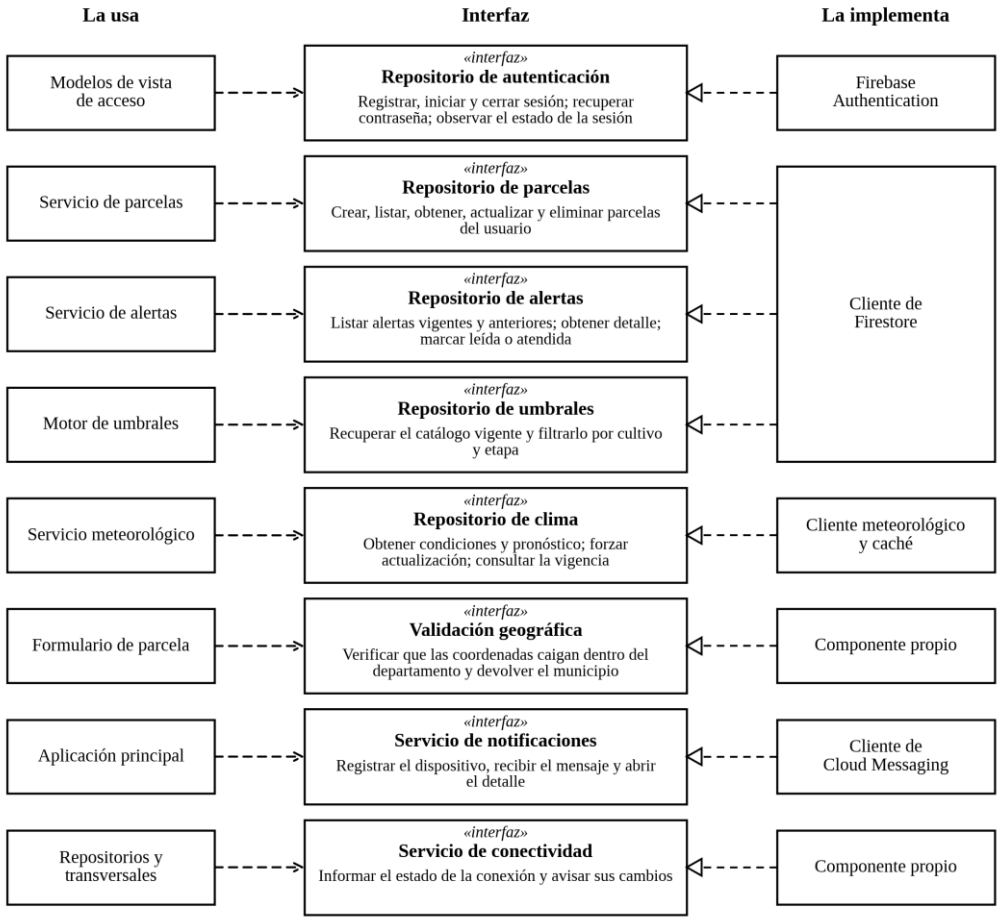
Tabla 59. *Interfaces internas entre componentes.*

Interfaz	Operaciones que expone	La consume	La implementa
Repositorio de autenticación	Registrar, iniciar y cerrar sesión, recuperar contraseña, observar el estado de la sesión.	Modelos de vista de acceso	Firebase Authentication
Repositorio de parcelas	Crear, listar, obtener, actualizar y eliminar parcelas del usuario.	Servicio de parcelas	Cliente de Firestore
Repositorio de clima	Obtener condiciones y pronóstico, forzar actualización, consultar la vigencia.	Servicio meteorológico	Cliente meteorológico y caché
Repositorio de alertas	Listar alertas vigentes y anteriores, obtener detalle, marcar leída o atendida.	Servicio de alertas	Cliente de Firestore
Repositorio de umbrales	Recuperar el catálogo vigente y filtrarlo por cultivo y etapa.	Motor de umbrales	Cliente de Firestore
Validación geográfica	Verificar que unas coordenadas caigan dentro del departamento y devolver el municipio.	Formulario de parcela	Componente propio
Servicio de notificaciones	Registrar el dispositivo, recibir el mensaje y encaminar al detalle.	Aplicación principal	Cliente de Cloud Messaging
Servicio de conectividad	Informar el estado de la conexión y avisar sus cambios.	Repositorios y transversales	Componente propio

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 30 muestra las mismas interfaces en un diagrama de componentes. Al centro está cada interfaz con sus operaciones; a la izquierda, el componente que la usa, unido por una flecha discontinua; y a la derecha, el que la implementa, unido por una flecha con punta de triángulo. El cliente de Firestore implementa tres de ellas.

Figura 30. *Diagrama de interfaces internas.*



Fuente: Elaboración propia.

5.3.3.2 Interfaces externas

Corresponden a los puntos donde el sistema consume servicios de terceros. Para cada una se define qué se envía, qué se espera recibir y qué ocurre cuando la respuesta no llega o no es válida. La Tabla 60 reúne estas definiciones para las siete interfaces externas del sistema.

Tabla 60. *Interfaces externas del sistema.*

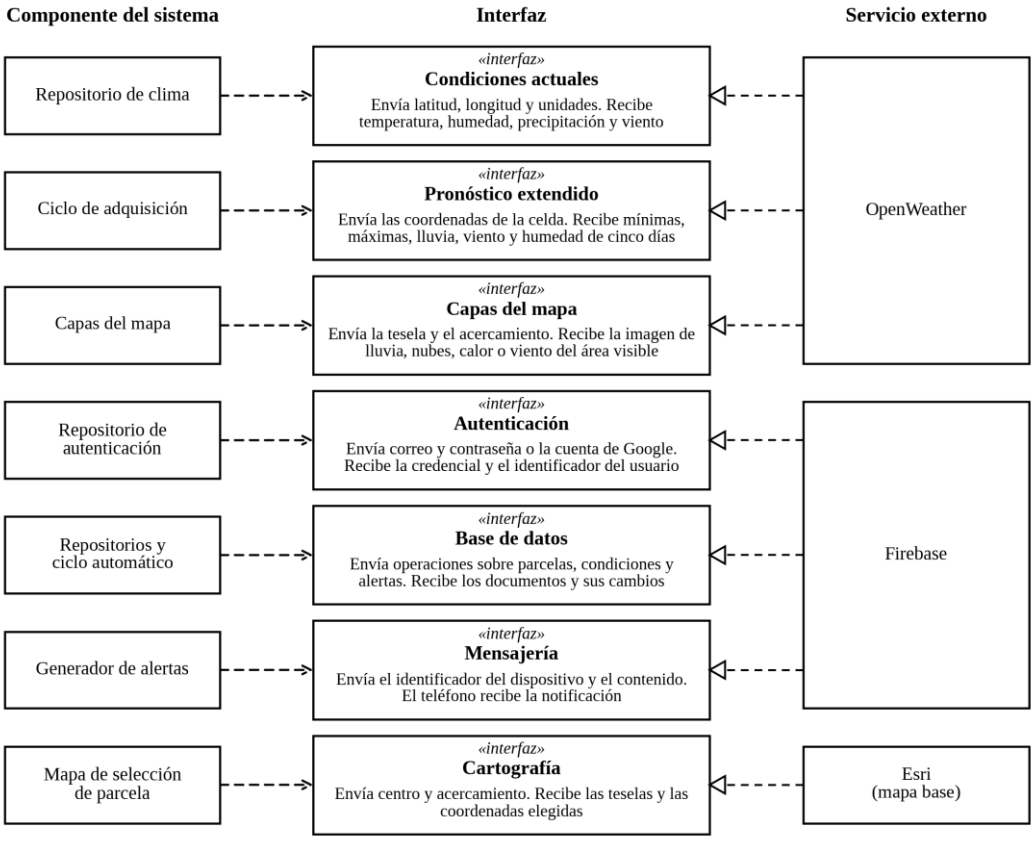
Interfaz	Operación	Datos intercambiados	Comportamiento ante fallo
Condiciones actuales	Consulta por coordenadas al proveedor.	Se envían latitud, longitud y unidades; se reciben temperatura, humedad, precipitación y viento.	Se devuelve el último valor guardado con la indicación de que no está vigente.
Pronóstico extendido	Consulta del pronóstico de cinco días.	Se envían las coordenadas; se reciben mínimas y máximas, precipitación, viento y humedad por día.	El ciclo termina sin generar alertas y se reintenta en el período siguiente.

Interfaz	Operación	Datos intercambiados	Comportamiento ante fallo
Capas del mapa	Solicitud de las teselas de lluvia, nubes, calor o viento del área visible, solo cuando el productor activa la capa.	Se envían las coordenadas de la tesela y el acercamiento; se recibe la imagen.	El mapa se muestra sin la capa y se informa que no está disponible.
Autenticación	Verificación de credenciales y emisión de la credencial.	Se envían correo y contraseña, o la cuenta de Google; se reciben la credencial y el identificador del usuario.	Se solicita de nuevo la autenticación con un mensaje en lenguaje llano.
Base de datos	Lectura y escritura de documentos.	Se envían las operaciones sobre parcelas, condiciones, alertas y encuestas; se reciben los documentos y sus cambios.	La operación queda pendiente en el dispositivo y se sincroniza al volver la conexión.
Mensajería	Envío y recepción de la notificación.	Se envían el identificador del dispositivo y el contenido; se recibe el mensaje.	La alerta se consulta dentro de la aplicación y permanece en el historial.
Cartografía	Carga del mapa base de Esri y captura del marcador.	Se envían centro y acercamiento; se reciben las teselas y las coordenadas elegidas.	Se habilita el registro por ubicación del dispositivo como alternativa.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 31 representa estas interfaces con la misma notación: a la izquierda, el componente del sistema que la usa; al centro, lo que envía y lo que recibe; y a la derecha, el servicio externo que la ofrece. OpenWeather y Firebase atienden tres interfaces cada uno y Esri una.

Figura 31. *Diagrama de interfaces externas.*

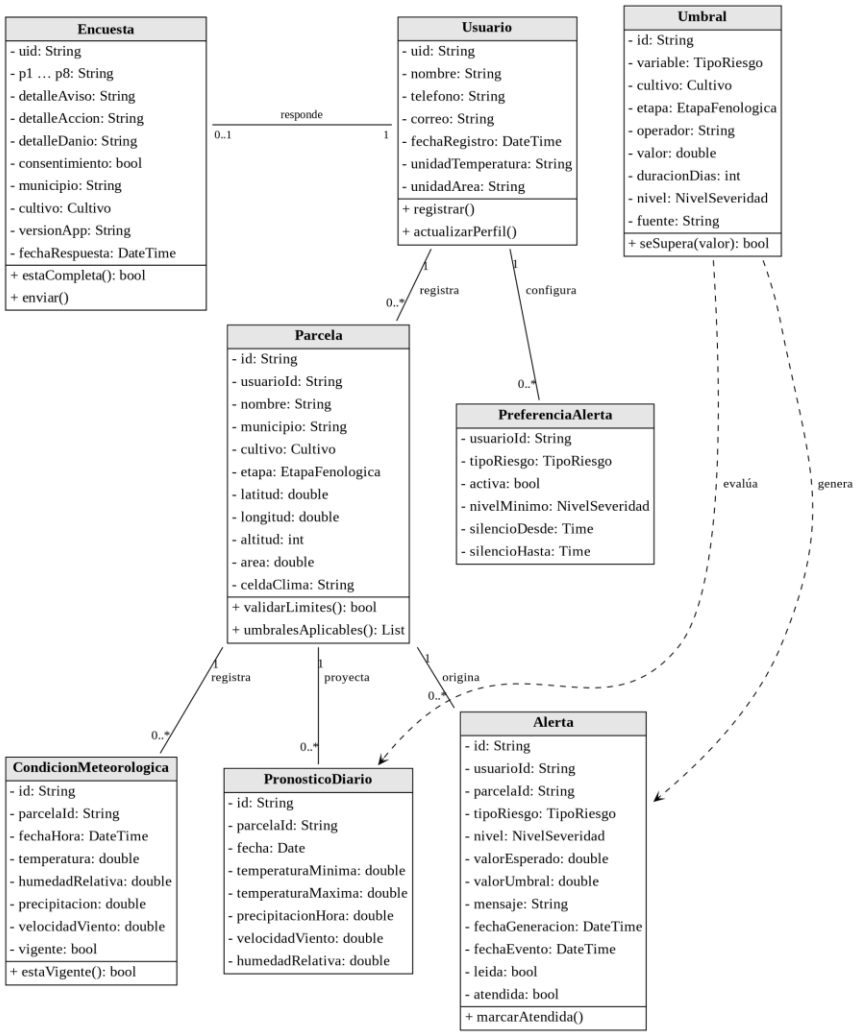


Fuente: Elaboración propia.

5.3.4 Diagrama de clases

La Figura 32 presenta las clases del dominio, es decir, las que representan los conceptos con los que el sistema trabaja; no se incluyen las clases de interfaz ni las de infraestructura. La notación sigue el Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés), en el que cada clase se divide en tres compartimentos: nombre, atributos y operaciones.

Figura 32. *Diagrama de clases del dominio.*



Fuente: Elaboración propia.

El diagrama contiene ocho clases. Usuario representa al productor y sus preferencias; Parcela, el terreno con su cultivo, etapa, coordenadas y celda climática, y sus operaciones validan la ubicación y devuelven los umbrales que le aplican. CondicionMeteorologica y PronosticoDiario guardan lo observado y lo proyectado para un día; Umbral describe un criterio de riesgo y decide si un valor lo supera; Alerta registra cada aviso con el valor que lo originó; PreferenciaAlerta guarda qué riesgos desea recibir el productor; y Encuesta, su opinión sobre la aplicación.

Cuatro atributos toman sus valores de enumeraciones. Cultivo admite maíz, frijol, café y hortalizas; EtapaFenologica, siembra, desarrollo vegetativo, floración, llenado y cosecha, que en pantalla se muestran como Siembra, Creciendo, Floreando, Llenando el grano y Cosecha;

TipoRiesgo, lluvia intensa, viento fuerte, sequía, temperatura baja, temperatura alta y humedad alta; y NivelSeveridad, informativa, preventiva y crítica.

En cuanto a las relaciones, un usuario registra cero o muchas parcelas, configura cero o muchas preferencias y responde a lo sumo una encuesta, y cada parcela registra cero o muchas condiciones, pronósticos y alertas; todos esos registros pertenecen a una sola parcela o a un solo usuario. Las líneas discontinuas que parten de Umbral son dependencias: el umbral evalúa los pronósticos y genera las alertas, sin relación de pertenencia.

5.4 Diseño de base de datos

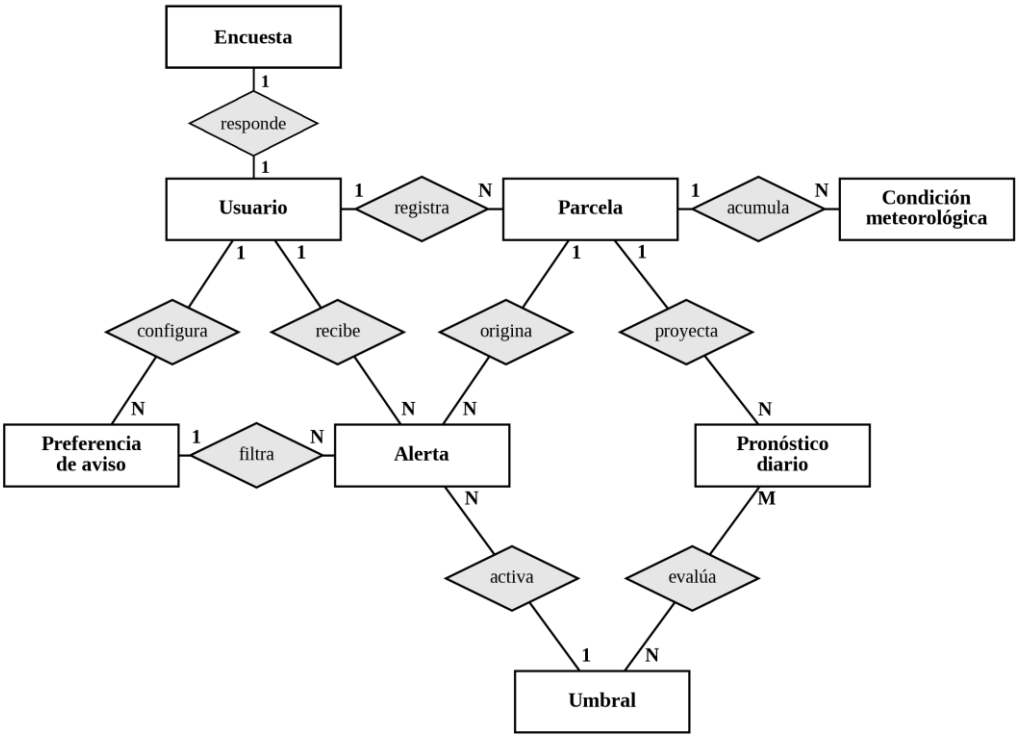
La información se almacena en Cloud Firestore, una base de datos no relacional orientada a documentos. En este modelo cada registro es un documento formado por pares de campo y valor, los documentos se agrupan en colecciones y un documento puede contener subcolecciones propias. A diferencia de una base relacional, la estructura no se declara de antemano y los datos que se consultan juntos se almacenan juntos.

La base no impone la forma de los documentos ni la integridad de las referencias entre colecciones, por lo que ambas quedan a cargo de la aplicación y de las reglas de seguridad; el modelo que sigue define los campos con el mismo detalle que un esquema relacional. La biblioteca de la base conserva además una copia local de los datos consultados y de las escrituras pendientes, que se sincronizan al recuperar la conexión, y así sostiene la operación sin señal que pide el requerimiento RNF-08.

5.4.1 Modelo de datos conceptual

El modelo conceptual identifica las entidades y sus relaciones, con independencia de cómo se almacenen después. La Figura 33 lo representa en un diagrama entidad-relación: los rectángulos son las ocho entidades, los rombos sus relaciones y los números la cardinalidad de cada lado.

Figura 33. *Diagrama entidad-relación del modelo conceptual.*



Fuente: Elaboración propia.

La relación entre usuario y parcela es de uno a muchos y constituye el eje del modelo, porque de ella se deriva el control de acceso: toda la información cuelga, directa o indirectamente, del usuario que la originó. La relación entre parcela y sus registros meteorológicos también es de uno a muchos, con la particularidad de que el conjunto crece de forma continua mientras la parcela siga activa.

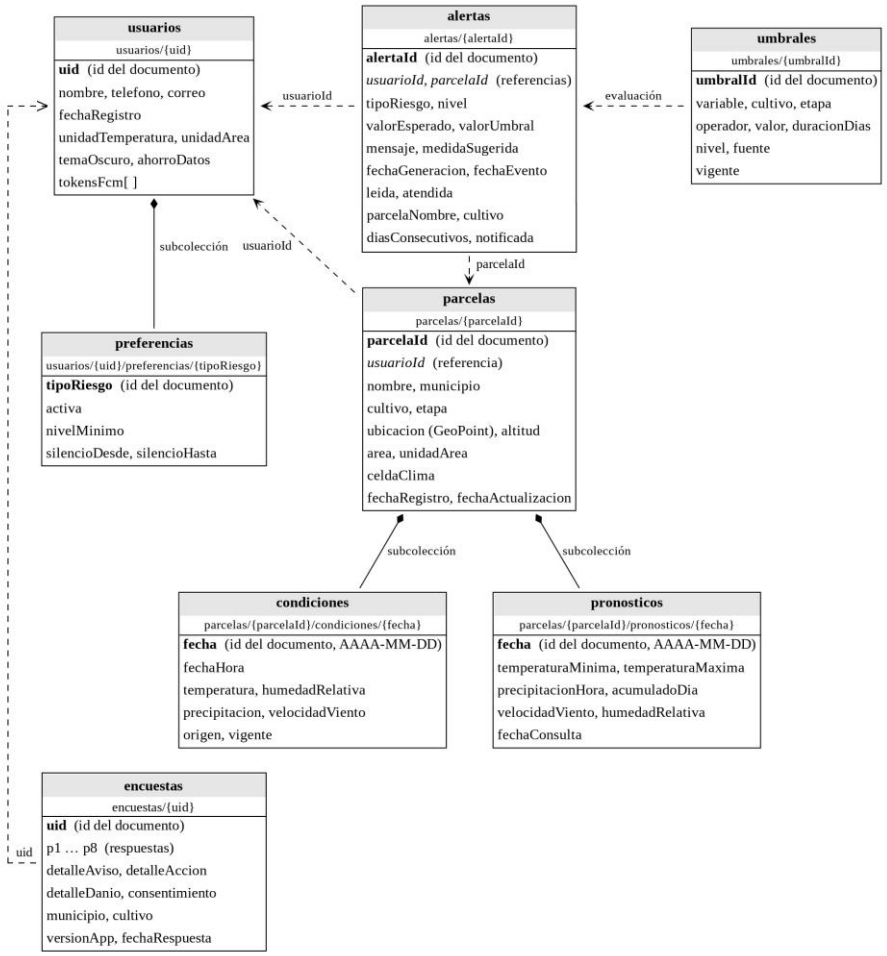
La relación entre umbral y alerta es de origen, es decir que el umbral existe, aunque nunca se supere, y la alerta conserva copia del valor que lo activó para que su detalle siga siendo comprensible, aunque el catálogo cambie después. La única relación de muchos a muchos es la evaluación: un umbral se compara con muchos pronósticos y cada pronóstico con varios umbrales. La encuesta se relaciona uno a uno con el usuario: cada productor tiene una sola respuesta, que se reemplaza si la vuelve a enviar.

5.4.2 Diagrama de la base de datos

La figura siguiente traduce el modelo conceptual a la estructura de colecciones y documentos. Las líneas con rombo indican subcolecciones, es decir, conjuntos que dependen

del documento que los contiene; las discontinuas indican referencias por identificador entre colecciones distintas.

Figura 34. *Estructura de la base de datos.*



Fuente: Elaboración propia.

La distribución responde a la forma en que cada conjunto se consulta. Condiciones y pronósticos son subcolecciones de la parcela porque siempre se piden para un terreno en concreto, tanto en el historial como en el panel. Las alertas se mantienen como colección independiente porque el centro de avisos las presenta reunidas para todas las parcelas del productor. El catálogo de umbrales es una colección aparte, de solo lectura para la aplicación, lo que permite ajustar los criterios sin liberar una versión nueva, conforme al requerimiento RNF-19.

El identificador de los documentos de las subcolecciones es la propia fecha en formato de año, mes y día. Esto impide que existan dos registros para el mismo día en la misma parcela,

porque una segunda escritura sobrescribe la primera en lugar de duplicarla, y permite recuperar un rango al ordenar por el identificador sin necesidad de un índice adicional.

El sistema requiere dos índices compuestos, ambos sobre la colección de alertas: uno por usuario y fecha de generación, que sostiene el listado del centro de avisos, y otro por parcela, tipo de riesgo y fecha del evento, que sostiene la verificación de duplicados. Las demás consultas se resuelven con los índices que la base crea de forma automática.

5.4.3 Diccionario de datos

El diccionario describe cada campo de cada colección. La columna de tipo corresponde a los admitidos por la base; la de obligatoriedad indica si el documento puede existir sin ese campo; y la de índice señala si el campo participa en alguna consulta que lo requiera. Al tratarse de una base sin esquema declarado, este diccionario es el documento de referencia que los componentes deben respetar al escribir.

La colección de usuarios guarda un documento por cuenta, identificado con el mismo código que emite el servicio de autenticación, y su subcolección de preferencias tiene un documento por tipo de riesgo. La colección de parcelas es la más consultada del sistema y su campo de celda climática permite agrupar las consultas al proveedor.

Las subcolecciones de condiciones y de pronósticos guardan un documento por día, identificado con la fecha; la de pronósticos es el único conjunto sobre el que opera el motor de umbrales. El pronóstico de cada día se arma con la unión de sus ocho franjas de tres horas en hora de Guatemala, y la lluvia del día en condiciones la suma el ciclo con las franjas que ya terminaron, porque el proveedor solo informa la lluvia de la última hora.

La colección de alertas reúne los avisos de todas las parcelas y conserva copia del valor que los originó, del nombre de la parcela y del cultivo, para mostrarlos sin volver a leer la parcela, y la de umbrales traslada a la base el catálogo de la Tabla 31, de solo lectura para la aplicación. La de encuestas guarda una sola respuesta por productor, con su mismo identificador. Las Tablas 61 a 68 presentan el diccionario de cada una.

Tabla 61. *Diccionario de datos de la colección usuarios.*

Campo	Tipo	Obligatorio	Índice	Valor por defecto	Descripción
uid	Cadena	Sí	Clave	—	Identificador del documento. Coincide con el que emite el servicio de autenticación.
nombre	Cadena	Sí	No	—	Nombre del productor.
telefono	Cadena	No	No	Vacío	Número de contacto con código de país.
correo	Cadena	Sí	Sí	—	Dirección de correo asociada a la cuenta.
fechaRegistro	Marca de tiempo	Sí	No	Momento de la creación	Fecha y hora de alta de la cuenta.
unidadTemperatura	Cadena	Sí	No	C	Unidad preferida: centígrados o Fahrenheit.
unidadArea	Cadena	Sí	No	manzana	Unidad de superficie preferida: manzanas o hectáreas.
temaOscuro	Booleano	Sí	No	falso	Indica si la interfaz se presenta en tema oscuro.
ahorroDatos	Booleano	Sí	No	falso	Sin red inalámbrica pide confirmar antes de cargar una capa del mapa y amplía la vigencia del dato.
tokensFcm	Arreglo	No	No	Vacío	Dispositivos en que la cuenta tiene sesión activa.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62. *Diccionario de datos de la subcolección preferencias.*

Campo	Tipo	Obligatorio	Índice	Valor por defecto	Descripción
tipoRiesgo	Cadena	Sí	Clave	—	Identificador del documento. Toma un valor de la enumeración de tipos de riesgo.
activa	Booleano	Sí	No	verdadero	Indica si suenan los avisos de este tipo; si está apagado no suena ninguno, ni siquiera los de peligro.
nivelMinimo	Cadena	Sí	No	preventiva	Nivel de severidad desde el cual se envía la notificación.
silencioDesde	Cadena	No	No	22:00	Hora a partir de la cual solo suenan los avisos de peligro.
silencioHasta	Cadena	No	No	05:00	Hora en que se reanuda el envío.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63. *Diccionario de datos de la colección parcelas.*

Campo	Tipo	Obligatorio	Índice	Valor por defecto	Descripción
parcelaId	Cadena	Sí	Clave	Generado	Identificador del documento.
usuarioId	Cadena	Sí	Sí	—	Referencia al propietario. Sostiene el control de acceso y las consultas.
nombre	Cadena	Sí	No	—	Nombre con que el productor identifica el terreno.

Campo	Tipo	Obligatorio	Índice	Valor por defecto	Descripción
municipio	Cadena	Sí	Sí	—	Municipio en que se ubica la parcela.
cultivo	Cadena	No	Sí	Vacío	Grupo de cultivo sembrado. Si está vacío solo aplican los umbrales generales (RN-05).
etapa	Cadena	No	Sí	Vacío	Etapa del cultivo. Determina qué umbrales específicos aplican.
ubicacion	Punto geográfico	Sí	Sí	—	Latitud y longitud, con al menos cuatro decimales.
altitud	Entero	No	No	Nulo	Altura sobre el nivel del mar en metros.
area	Decimal	No	No	Nulo	Superficie del terreno.
unidadArea	Cadena	No	No	manzana	Unidad en que se expresó la superficie.
celdaClima	Cadena	Sí	Sí	Calculado	Celda geográfica que agrupa las consultas al proveedor.
activa	Booleano	Sí	Sí	verdadero	Indica si la parcela participa en el ciclo automático.
fechaRegistro	Marca de tiempo	Sí	No	Momento de la creación	Fecha y hora de alta de la parcela.
fechaActualizacion	Marca de tiempo	Sí	No	Momento de la escritura	Última modificación de los datos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64. *Diccionario de datos de la subcolección condiciones.*

Campo	Tipo	Obligatorio	Índice	Valor por defecto	Descripción
fecha	Cadena	Sí	Clave	—	Identificador del documento en formato de año, mes y día.
fechaHora	Marca de tiempo	Sí	No	—	Momento exacto de la observación, en tiempo universal.
temperatura	Decimal	Sí	No	—	Temperatura observada en grados centígrados.
humedadRelativa	Decimal	Sí	No	—	Humedad relativa en porcentaje.
precipitacion	Decimal	Sí	No	0	Lluvia del día en milímetros, que el ciclo suma con las franjas de tres horas ya terminadas.
velocidadViento	Decimal	Sí	No	—	Velocidad del viento en kilómetros por hora.
origen	Cadena	Sí	No	ciclo	Indica si el registro viene del ciclo automático o de una consulta.
vigente	Booleano	Sí	No	verdadero	Señala si el dato está dentro de su intervalo de validez.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65. *Diccionario de datos de la subcolección pronósticos.*

Campo	Tipo	Obligatorio	Índice	Valor por defecto	Descripción
fecha	Cadena	Sí	Clave	—	Identificador del documento, día al que corresponde la proyección.
temperaturaMinima	Decimal	Sí	No	—	Temperatura mínima proyectada en grados centígrados.
temperaturaMaxima	Decimal	Sí	No	—	Temperatura máxima proyectada en grados centígrados.
precipitacionHora	Decimal	Sí	No	0	Mayor intensidad media de lluvia por hora entre las franjas de tres horas del día.
acumuladoDia	Decimal	Sí	No	0	Suma de la lluvia de las franjas de tres horas del día.
velocidadViento	Decimal	Sí	No	—	Velocidad del viento proyectada.
humedadRelativa	Decimal	Sí	No	—	Humedad relativa proyectada en porcentaje.
fechaConsulta	Marca de tiempo	Sí	No	Momento de la escritura	Momento en que se obtuvo la proyección.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66. *Diccionario de datos de la colección alertas.*

Campo	Tipo	Obligatorio	Índice	Valor por defecto	Descripción
alertaId	Cadena	Sí	Clave	Generado	Identificador del documento.
usuarioId	Cadena	Sí	Sí	—	Referencia al productor destinatario.
parcelaId	Cadena	Sí	Sí	—	Referencia a la parcela afectada.
tipoRiesgo	Cadena	Sí	Sí	—	Variable que originó la alerta.
nivel	Cadena	Sí	Sí	—	Severidad alcanzada: informativa, preventiva o crítica.
valorEsperado	Decimal	Sí	No	—	Valor proyectado que activó la alerta.
valorUmbral	Decimal	Sí	No	—	Valor del criterio contra el que se comparó.
mensaje	Cadena	Sí	No	—	Texto del aviso en lenguaje de acción (RNF-14).
medidaSugerida	Cadena	No	No	Vacío	Recomendación asociada al riesgo y al cultivo.
fechaGeneracion	Marca de tiempo	Sí	Sí	Momento de la creación	Momento en que se generó la alerta.
fechaEvento	Marca de tiempo	Sí	Sí	—	Día al que corresponde la condición proyectada.
leida	Booleano	Sí	No	falso	Indica si el productor abrió el detalle.
atendida	Booleano	Sí	No	falso	Indica si el productor confirmó haber tomado medidas.
parcelaNombre	Cadena	Sí	No	—	Copia del nombre de la parcela, para mostrar la alerta sin leer la parcela.
cultivo	Cadena	No	No	Vacío	Copia del cultivo de la parcela al generarse la alerta.

Campo	Tipo	Obligatorio	Índice	Valor por defecto	Descripción
diasConsecutivos	Entero	No	No	1	Días seguidos con el mismo riesgo y nivel, como en una sequía o una ola de calor.
notificada	Booleano	Sí	No	falso	Indica si el aviso se envió al teléfono. Lo escribe el ciclo automático.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67. *Diccionario de datos de la colección umbrales.*

Campo	Tipo	Obligatorio	Índice	Valor por defecto	Descripción
umbralId	Cadena	Sí	Clave	Generado	Identificador del documento.
variable	Cadena	Sí	Sí	—	Variable meteorológica evaluada.
cultivo	Cadena	No	Sí	Vacío	Cultivo al que aplica. Si está vacío el criterio es general.
etapa	Cadena	No	Sí	Vacío	Etapa a la que aplica. Si está vacío aplica a todas.
operador	Cadena	Sí	No	—	Sentido de la comparación: mayor que, menor que o igual.
valor	Decimal	Sí	No	—	Valor de referencia del criterio.
duracionDias	Entero	No	No	1	Días consecutivos que deben cumplir la condición.
nivel	Cadena	Sí	Sí	—	Severidad que se asigna cuando el criterio se cumple.
fuente	Cadena	Sí	No	—	Referencia bibliográfica que respalda el valor.
vigente	Booleano	Sí	Sí	verdadero	Indica si el criterio participa en la evaluación.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68. *Diccionario de datos de la colección encuestas.*

Campo	Tipo	Obligatorio	Índice	Valor por defecto	Descripción
uid	Cadena	Sí	Clave	—	Identificador del documento. Coincide con el del usuario que responde.
p1	Cadena	Sí	No	—	Facilidad de uso: fácil, más o menos o difícil.
p2	Cadena	Sí	No	—	Si entiende los avisos y sus colores: todo, la mayoría o poco.
p3	Cadena	No	No	Vacío	Si le ha llegado algún aviso al teléfono: sí o no.
p4	Cadena	Sí	No	—	Cuánto le ha servido para planificar: mucho, algo o poco.
p5	Cadena	Sí	No	—	Si hizo algo en su parcela por un aviso o el pronóstico: sí o no.
p6	Cadena	Sí	No	—	Si un aviso le ayudó a evitar o reducir un daño: sí, todavía no ha habido daño o no.

Campo	Tipo	Obligatorio	Índice	Valor por defecto	Descripción
p7	Cadena	Sí	No	—	Si la recomendaría a otros productores: sí, tal vez o no.
p8	Cadena	No	No	Vacío	Qué le cambiaría o agregaría, en texto libre.
detalleAviso	Cadena	No	No	Vacío	De qué fue el aviso, cuando p3 es sí.
detalleAccion	Cadena	No	No	Vacío	Qué hizo en la parcela, cuando p5 es sí.
detalleDanio	Cadena	No	No	Vacío	Qué daño evitó o redujo, cuando p6 es sí.
consentimiento	Booleano	Sí	No	—	Permiso para usar su nombre, sus respuestas y una foto en este trabajo.
municipio	Cadena	No	No	Vacío	Municipio de la primera parcela registrada.
cultivo	Cadena	No	No	Vacío	Cultivo de la primera parcela registrada.
versionApp	Cadena	Sí	No	—	Versión de la aplicación con que respondió.
fechaRespuesta	Marca de tiempo	Sí	No	Momento del envío	Fecha y hora del último envío.

Fuente: Elaboración propia.

5.5 Diseño de la interfaz de usuario (UI)

La interfaz de usuario (UI, por sus siglas en inglés) se diseñó para un productor que consulta el teléfono en la parcela, muchas veces bajo el sol, con señal débil y poca costumbre de usar aplicaciones especializadas. Por eso las pantallas usan letra grande, pocos elementos a la vez y palabras del campo en lugar de términos técnicos.

5.5.1 Principios de diseño de UI/UX

El diseño se construye sobre Material Design 3, el sistema de diseño de Google para Android, adaptado a usuarios rurales. La experiencia de usuario (UX, por sus siglas en inglés) sigue cuatro principios: fondos claros que se leen bajo el sol, letra grande, una sola tarea por pantalla y lenguaje sencillo, escrito como habla el productor.

La paleta parte del verde agrícola con un azul cielo como acento para el clima. El riesgo se comunica con un semáforo de tres niveles, normal, precaución y peligro, que corresponden a las alertas informativa, preventiva y crítica y que siempre combinan color, ícono y palabra. En el nivel de precaución el texto y el ícono usan tonos más oscuros que los del prototipo, para alcanzar el contraste mínimo de 4.5:1.

Tabla 69. *Paleta de colores de la interfaz.*

Color	Código	Uso
Primario	#2E7D32	Botones principales, elementos activos y barra de navegación.
Primario oscuro	#1B5E20	Barras superiores y pantalla de carga.
Contenedor	#C8E6C9	Fondo de elementos seleccionados.
Acento cielo	#0277BD	Íconos e ilustraciones del clima.
Fondo y superficie	#F7F6F2 y #FFFFFF	Fondo general, tarjetas y campos en tema claro.
Texto	#1A1C19	Texto principal en tema claro.
Tema oscuro	#10130F, #1E231C y #A5D6A7	Fondo, tarjetas y elementos activos en tema oscuro.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70. *Niveles del semáforo de riesgo.*

Nivel	Color	Fondo	Ícono	Alerta
Normal	#2E7D32	#E8F5E9	Círculo con marca de verificación	Informativa
Precaución	#8A4B00 (ícono) y #4A2A00 (texto)	#FFF3D6	Triángulo de advertencia	Preventiva
Peligro	#B3261E	#FDE7E7	Círculo con signo de exclamación	Crítica

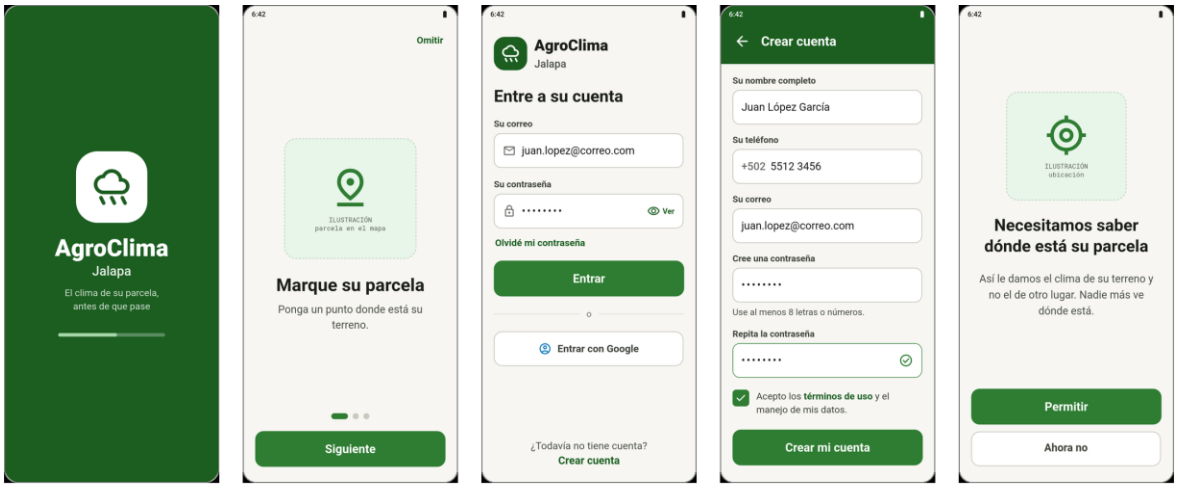
Fuente: Elaboración propia.

La tipografía es Roboto, en tamaños expresados en píxeles independientes de la escala (sp), que respetan el tamaño de letra configurado en el teléfono. El texto nunca baja de 16 sp y la temperatura del panel se muestra a 64 sp; los títulos van de 20 a 32 sp y las etiquetas en 14 sp. Los íconos de Material Symbols siempre van con su palabra y los espacios siguen una escala de 8 a 48 píxeles independientes de la densidad (dp).

5.5.2 Prototipos de interfaz

Los prototipos se elaboraron para asegurar que cumplan con todo lo que se implementará en la aplicación y suman 35 pantallas organizadas por módulo. Las Figuras 35 a 38 presentan las más representativas de cada grupo, en el orden en que el productor las recorre.

Figura 35. *Prototipos de acceso e incorporación.*

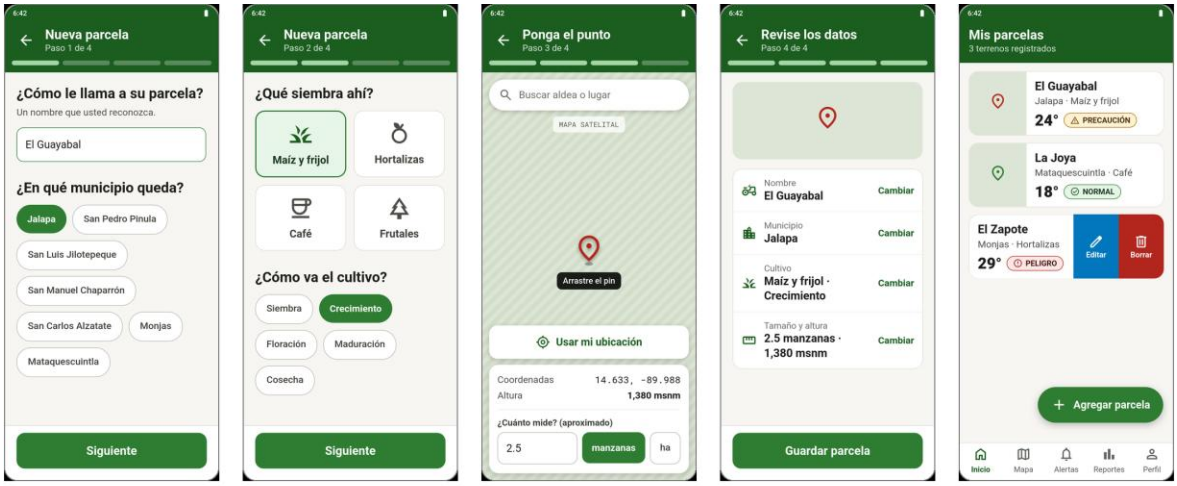


a) Carga inicial b) Introducción c) Inicio de sesión d) Registro e) Permiso de ubicación

Fuente: Elaboración propia.

La carga inicial presenta la aplicación y la introducción explica en una idea por pantalla qué hace. El inicio de sesión y el registro usan etiquetas escritas como se habla, como "Su correo", y los permisos de ubicación y de avisos explican para qué sirven antes de pedirlos, con la opción "Ahora no".

Figura 36. *Prototipos del registro y gestión de parcelas.*

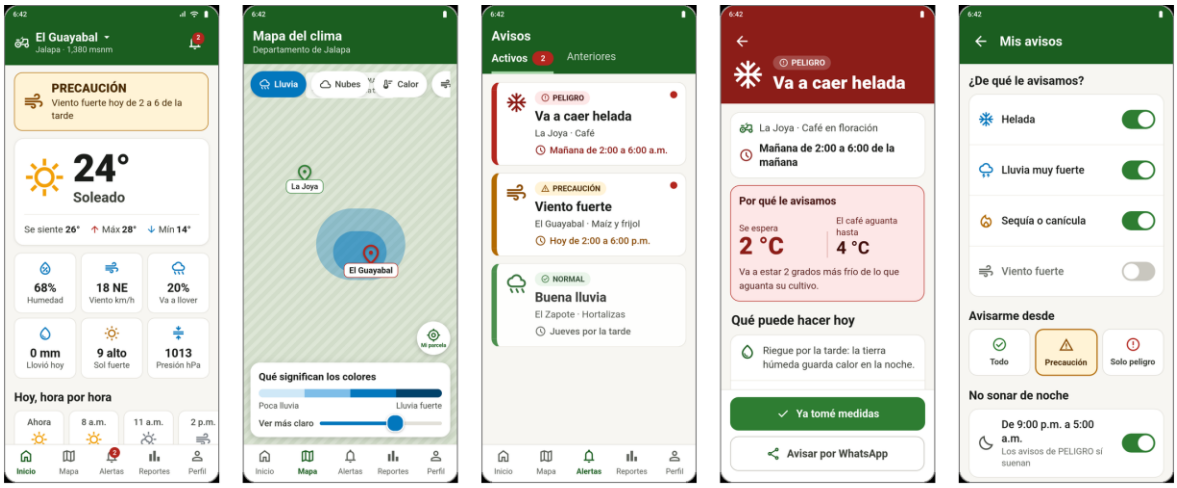


a) Paso 1: nombre y municipio b) Paso 2: cultivo y etapa c) Paso 3: ubicación d) Paso 4: confirmación e) Mis parcelas

Fuente: Elaboración propia.

El registro de una parcela se hace en cuatro pasos con una barra de progreso: nombre y municipio, cultivo y etapa, ubicación en el mapa o por el teléfono con el tamaño del terreno, y un resumen donde cada dato se puede corregir. La lista muestra cada parcela con su cultivo, temperatura y nivel de riesgo.

Figura 37. *Prototipos de monitoreo meteorológico y alertas.*

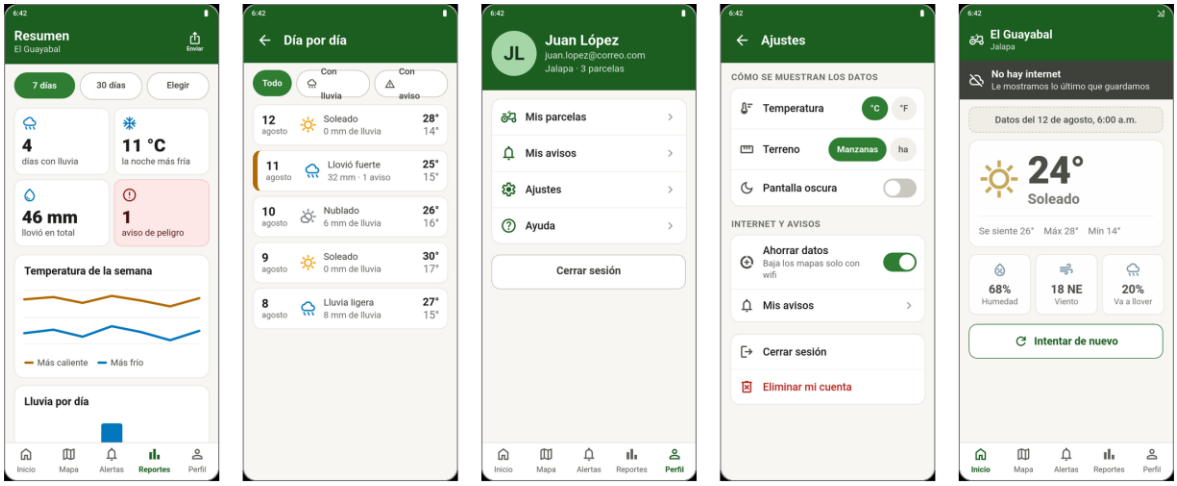


a) Panel principal b) Mapa por capas c) Centro de alertas d) Detalle de alerta e) Mis avisos

Fuente: Elaboración propia.

El panel principal muestra primero el riesgo del día, luego la temperatura en tamaño grande y al final el detalle y el pronóstico. El mapa activa capas de lluvia, nubes, calor y viento. Las alertas se ordenan por nivel de riesgo, el detalle compara el valor esperado con el que aguanta el cultivo y en mis avisos se eligen los riesgos, el nivel y el horario.

Figura 38. *Prototipos de reportes, perfil y estados del sistema.*



a) Reportes b) Historial c) Perfil d) Ajustes e) Sin conexión

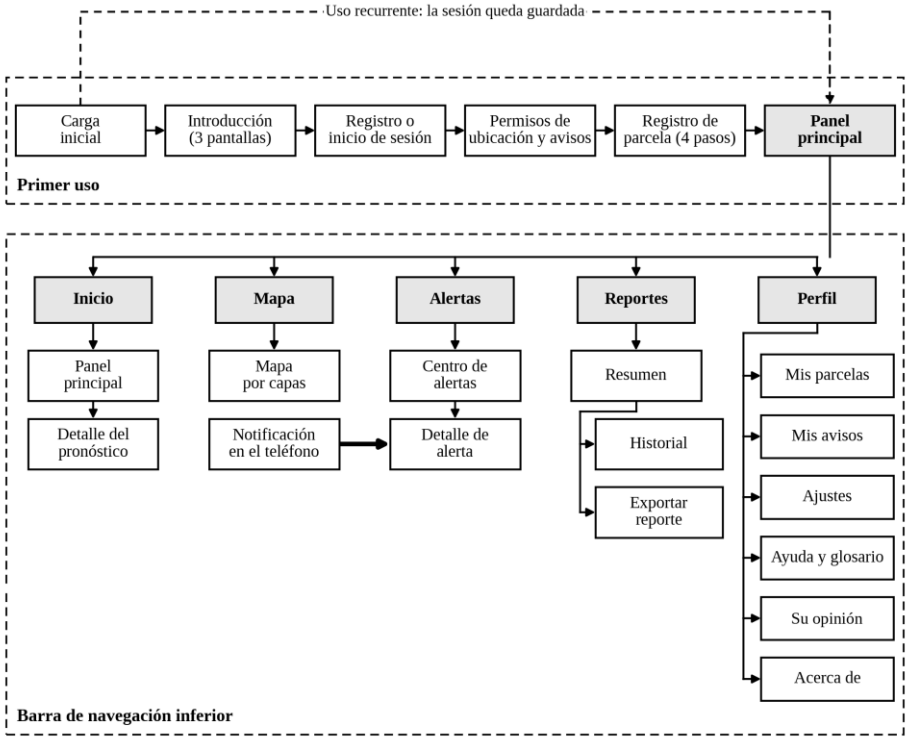
Fuente: Elaboración propia.

Los reportes presentan indicadores del período antes que las gráficas y el historial muestra el registro día por día en forma de lista. El perfil da acceso a parcelas, avisos, ajustes y ayuda. Sin conexión, la aplicación muestra los últimos datos guardados con su fecha y un botón para intentar de nuevo.

5.5.3 Diseño de navegación

La primera vez, el productor recorre un flujo lineal desde la carga inicial hasta el registro de su primera parcela; en los usos siguientes la sesión queda guardada y la aplicación abre en el panel. Dentro, se mueve con una barra inferior de cinco destinos, como muestra la Figura 39.

Figura 39. *Diagrama de navegación de la aplicación.*



Fuente: Elaboración propia.

Cada destino de la barra, Inicio, Mapa, Alertas, Reportes y Perfil, abre su pantalla principal y desde ella se llega a las de detalle. La única entrada que no pasa por la barra es la notificación, marcada con la flecha gruesa, que lleva directo al detalle de la alerta.

5.5.4 Directrices de accesibilidad y usabilidad

Las directrices toman como referencia las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG, por sus siglas en inglés) en su nivel AA y las recomendaciones de Material Design, junto con pautas propias del perfil del productor. La Tabla 71 las resume.

Tabla 71. *Directrices de accesibilidad y usabilidad.*

Directriz	Criterio	Aplicación en el diseño
Tamaño de letra	Texto de 16 sp como mínimo.	Respeta el tamaño de letra del teléfono.

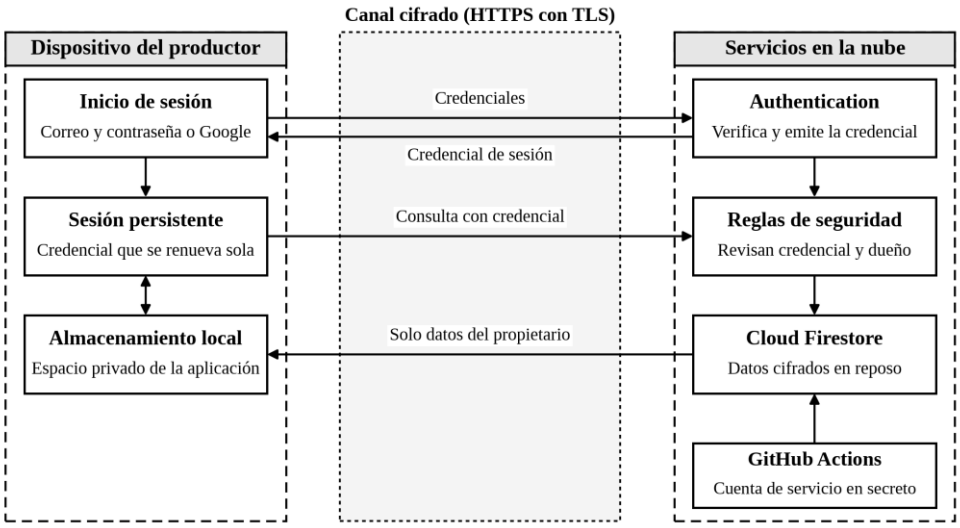
Directriz	Criterio	Aplicación en el diseño
Área táctil	Mínimo de 48 × 48 dp.	Campos y botones de 56 dp de alto.
Contraste	Mínimo de 4.5:1 entre texto y fondo.	Fondos claros y colores ajustados en tema oscuro.
Color acompañado	El color nunca es la única señal.	Semáforo con color, ícono y palabra.
Lenguaje sencillo	Palabras del campo.	"Va a llover fuerte" en lugar de "precipitación acumulada".
Una tarea por pantalla	Una decisión a la vez.	Registro de parcela en cuatro pasos.
Operación sin señal	Ninguna pantalla queda vacía.	Datos guardados con su fecha.

Fuente: Elaboración propia.

5.6 Diseño de la seguridad

La seguridad protege la cuenta del productor, la información de sus parcelas y los avisos que recibe. Se apoya en los mecanismos de Firebase y en reglas propias sobre quién puede leer o modificar cada dato. La Figura 40 muestra cómo se relacionan estos controles entre el dispositivo y la nube.

Figura 40. *Controles de seguridad entre el dispositivo y la nube.*



Fuente: Elaboración propia.

El inicio de sesión envía las credenciales a Firebase Authentication, que devuelve una credencial de sesión con la que viaja cada consulta. Antes de entregar o guardar un dato, las reglas de seguridad revisan esa credencial y que el dato pertenezca a quien lo pide. Todo pasa por el Protocolo Seguro de Transferencia de Hipertexto (HTTPS) con Seguridad de la Capa de Transporte (TLS), ambos por sus siglas en inglés.

5.6.1 Autenticación y autorización

La autenticación comprueba quién es el usuario y la autorización define qué puede hacer. La primera se resuelve con Firebase Authentication, con correo y contraseña de al menos ocho caracteres o con la cuenta de Google; la contraseña no se guarda en el teléfono ni en la base de datos, y se recupera con un enlace al correo.

La autorización se resuelve con las reglas de seguridad de Cloud Firestore: cada productor solo ve y modifica lo que le pertenece, como establece la regla RN-03, y los datos del ciclo automático solo los escribe el ciclo, que entra con una cuenta de servicio guardada como secreto de GitHub.

Tabla 72. *Permisos de lectura y escritura por colección.*

Colección	Quién puede leer	Quién puede escribir
usuarios y preferencias	El propio usuario.	El propio usuario.
parcelas	El propietario.	El propietario, con su propio identificador.
condiciones	El propietario de la parcela.	El propietario en consultas puntuales y el ciclo automático.
pronósticos y umbrales	El propietario; los umbrales, cualquier usuario con sesión.	Solo el ciclo automático.
alertas	El productor destinatario.	El ciclo automático las crea; el productor solo las marca como leídas o atendidas.
encuestas	El propio usuario.	El propio usuario, con su propio identificador; nadie la borra desde la aplicación.

Fuente: Elaboración propia.

5.6.2 Gestión de sesiones

La sesión se mantiene abierta en el teléfono hasta que el productor la cierra. La credencial dura una hora y la biblioteca de autenticación la renueva sola mientras la cuenta siga activa. Una cuenta puede tener sesión en varios teléfonos y cada uno recibe los avisos. Al cerrar la sesión se borra la copia local y el teléfono deja de recibir avisos, y al cambiar la contraseña las sesiones de los otros teléfonos dejan de ser válidas.

5.6.3 Cifrado de datos

Los datos viajan cifrados con HTTPS hacia los servicios externos. En la nube, Cloud Firestore cifra de forma automática lo que almacena, y en el teléfono la copia local queda en el espacio privado de la aplicación. Las claves de los servicios externos no se publican: las del

ciclo automático se guardan como secretos de GitHub, la de la aplicación se agrega al compilar y no queda en el código publicado, y el mapa base de Esri no usa clave.

Tabla 73. *Protección de los datos según su tipo.*

Dato	Dónde se guarda	Protección
Contraseña	Firebase Authentication.	Viaja cifrada y nunca se guarda en el teléfono.
Credencial de sesión	Teléfono.	Espacio privado de la aplicación y vigencia de una hora.
Perfil, parcelas, condiciones, alertas y encuesta	Cloud Firestore y copia local.	Cifrado en tránsito y en la nube, y acceso limitado al propietario.
Claves de servicios externos	Secretos de GitHub y aplicación.	Fuera del código publicado; el mapa base de Esri no requiere clave.

Fuente: Elaboración propia.

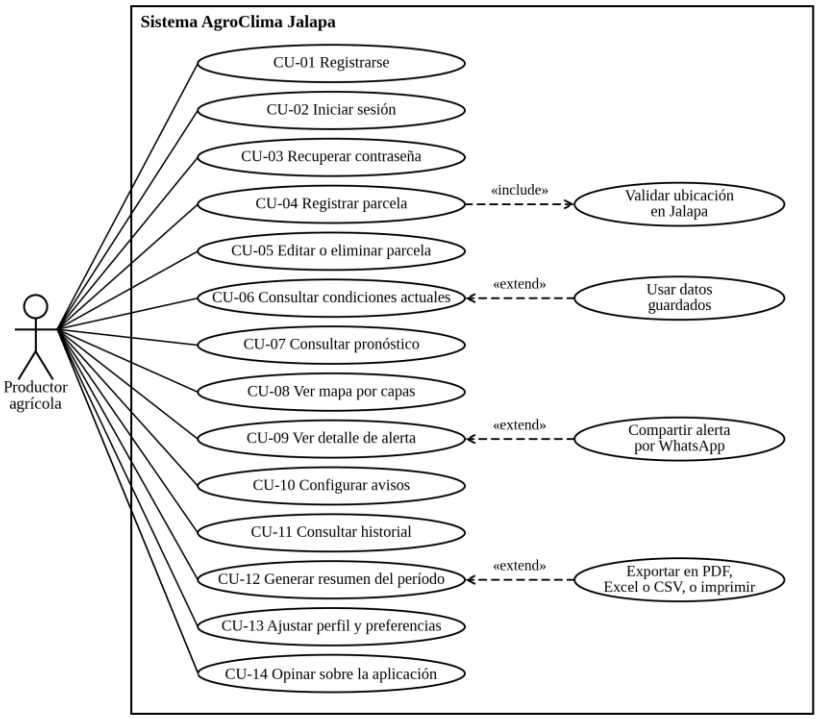
5.7 Diagramas UML

Los diagramas de este apartado describen el comportamiento del sistema: qué puede hacer cada actor, en qué orden ocurren las actividades y cómo se intercambian mensajes los componentes.

5.7.1 Diagramas de casos de uso

Un caso de uso representa algo que un actor logra con el sistema. Se presentan dos diagramas: lo que hace el productor desde la aplicación y el ciclo automático que se ejecuta en la nube.

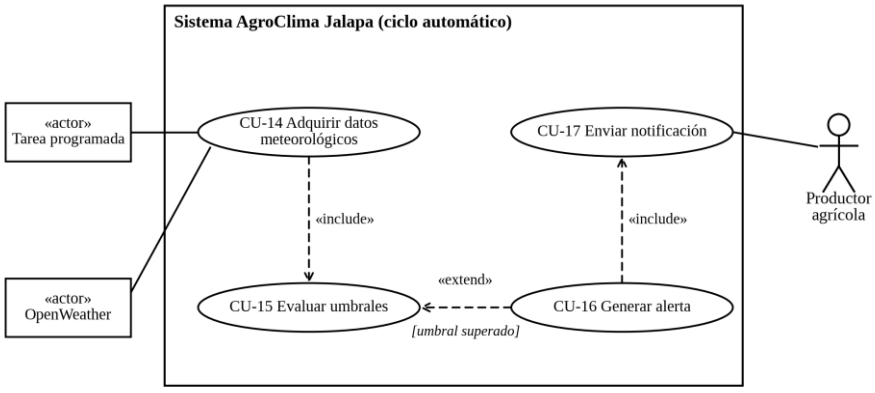
Figura 41. *Diagrama de casos de uso del productor agrícola.*



Fuente: Elaboración propia.

El productor se relaciona con catorce casos de uso, del registro a la opinión sobre la aplicación. Las flechas discontinuas marcan dos relaciones: la inclusión, cuando un caso siempre usa a otro, como validar la ubicación al registrar una parcela; y la extensión, que se agrega solo en ciertas condiciones, como usar los datos guardados sin señal o exportar el resumen en PDF, Excel o CSV, o imprimirlo.

Figura 42. *Diagrama de casos de uso del ciclo automático.*



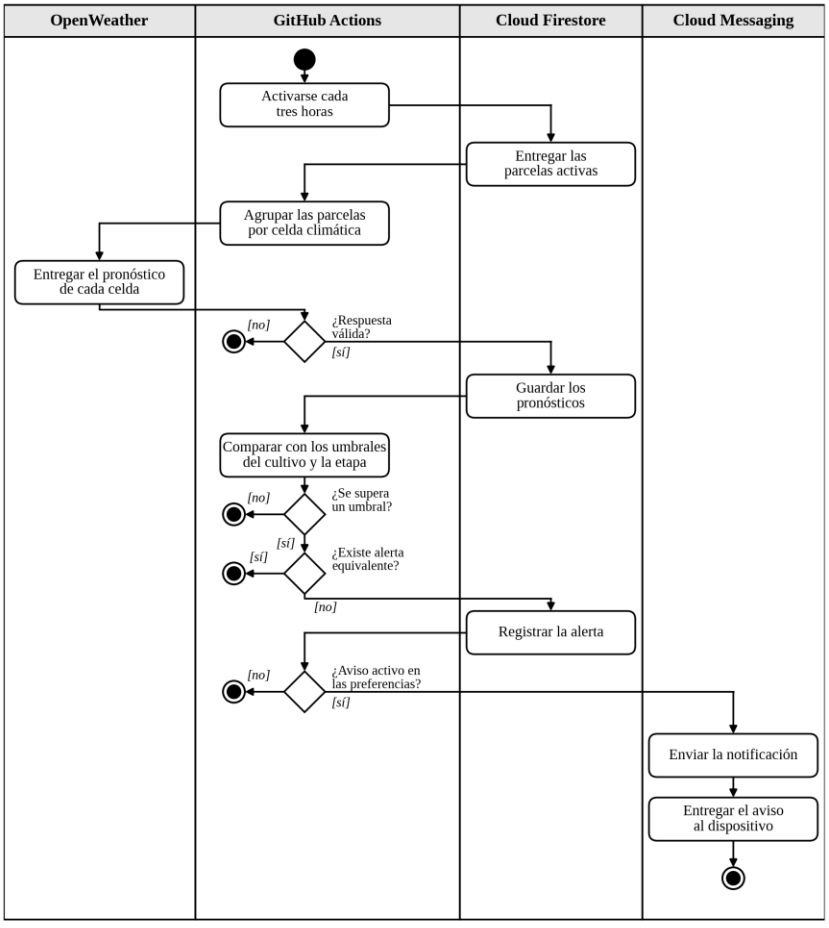
Fuente: Elaboración propia.

La tarea programada de GitHub Actions inicia cada tres horas la adquisición de datos, en la que participa OpenWeather, y esta incluye siempre la evaluación de umbrales. Solo si un umbral se supera, la evaluación se extiende a la generación de la alerta, que incluye el envío de la notificación al productor.

5.7.2 Diagrama de actividades

El diagrama de actividades muestra el orden de las acciones de un proceso, sus decisiones y quién ejecuta cada paso, separado en carriles. Se presenta el ciclo automático de alertas, que es el proceso central del sistema.

Figura 43. *Diagrama de actividades del ciclo automático de alertas.*



Fuente: Elaboración propia.

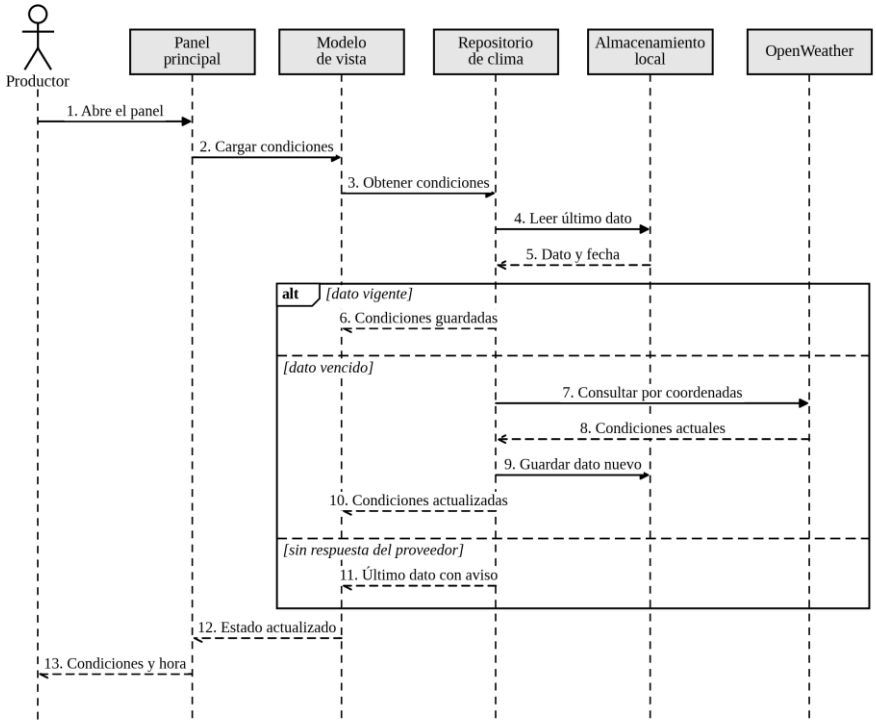
La tarea de GitHub Actions se activa cada tres horas, lee las parcelas activas, las agrupa por celda y consulta el pronóstico. El ciclo termina sin aviso si la respuesta no es válida, si ningún umbral se supera o si ya existe una alerta igual. Si el productor desactivó ese aviso, la

alerta queda solo en el historial; si no, Cloud Messaging la envía al teléfono, y de noche solo suenan los avisos de peligro.

5.7.3 Diagrama de secuencia

El diagrama de secuencia muestra los mensajes entre participantes a lo largo del tiempo, de arriba hacia abajo. Las flechas continuas son solicitudes, las discontinuas son respuestas y los recuadros agrupan mensajes que se repiten o que dependen de una condición.

Figura 44. *Diagrama de secuencia de la consulta de condiciones.*



Fuente: Elaboración propia.

Al abrir el panel, la consulta llega al repositorio de clima, que lee primero el último dato guardado. Si sigue vigente lo devuelve de inmediato; si venció, consulta a OpenWeather y guarda el dato nuevo; y si el proveedor no responde, devuelve el último dato con el aviso de que no está vigente.

5.8 Revisión y mejora continua del diseño

El diseño se revisa en cada iteración de Scrum con lo que se aprende al construir y probar cada incremento, y se ajusta cuando una decisión no funciona como se esperaba. Este apartado

describe cuándo se revisa, de dónde viene la retroalimentación y cómo se incorporan los cambios.

5.8.1 Revisión de diseño en reuniones de sprint

Scrum organiza el trabajo en iteraciones con eventos para inspeccionar y adaptar el avance. En cada sprint de dos semanas el diseño se revisa en cuatro momentos. Como el equipo es de una persona, son sesiones breves de revisión apoyadas en el tablero del proyecto.

Tabla 74. *Revisión del diseño en los eventos de cada sprint.*

Evento	Qué se revisa del diseño	Resultado
Planificación	Componentes, pantallas y colecciones de las historias elegidas.	Tareas de diseño dentro del sprint.
Refinamiento, a mitad del sprint	Diseño de las historias de la siguiente iteración.	Historias listas antes de empezar.
Revisión del sprint	El incremento en un teléfono de gama media o baja, frente a los prototipos.	Diferencias registradas en la pila del producto.
Retrospectiva	Decisiones de diseño que causaron retrabajo.	Mejoras para la siguiente iteración.

Fuente: Elaboración propia.

5.8.2 Retroalimentación del diseño

La retroalimentación viene de las pruebas en teléfonos de gama media y baja, de los productores y técnicos agrícolas durante las pruebas con prototipos y la validación en campo del sexto sprint, de la asesoría del proyecto y de los registros de Firebase y de GitHub Actions. Cada observación se anota en el tablero con su origen, de modo que todo cambio pueda rastrearse.

5.8.3 Adaptación y mejora continua

Los cambios entran a la pila del producto y se ordenan por valor y dependencias. Los umbrales pueden ajustarse sin publicar una versión nueva, porque se guardan como configuración, y los prototipos se actualizan en la herramienta de diseño antes de programar el cambio.

Tabla 75. *Elementos del diseño que se revisan en cada sprint.*

Sprint	Elementos de la pila	Elementos del diseño que se revisan
1	HT-01, HT-02, HU-01, HU-02	Arquitectura en capas, reglas de seguridad y pantallas de acceso.
2	HU-03 a HU-06	Registro de parcela, validación geográfica y celda climática.
3	HU-07, HU-08, HU-15	Repositorio de clima, panel principal y estados sin conexión.

Sprint	Elementos de la pila	Elementos del diseño que se revisan
4	HT-03, HT-04, HU-10 a HU-12	Catálogo de umbrales, ciclo en la nube y alertas.
5	HU-09, HU-13, HU-14	Mapa por capas e historial.
6	HU-16, HU-17 y pruebas en campo	Reportes, encuesta de opinión y ajustes de la validación con productores.

Fuente: Elaboración propia.

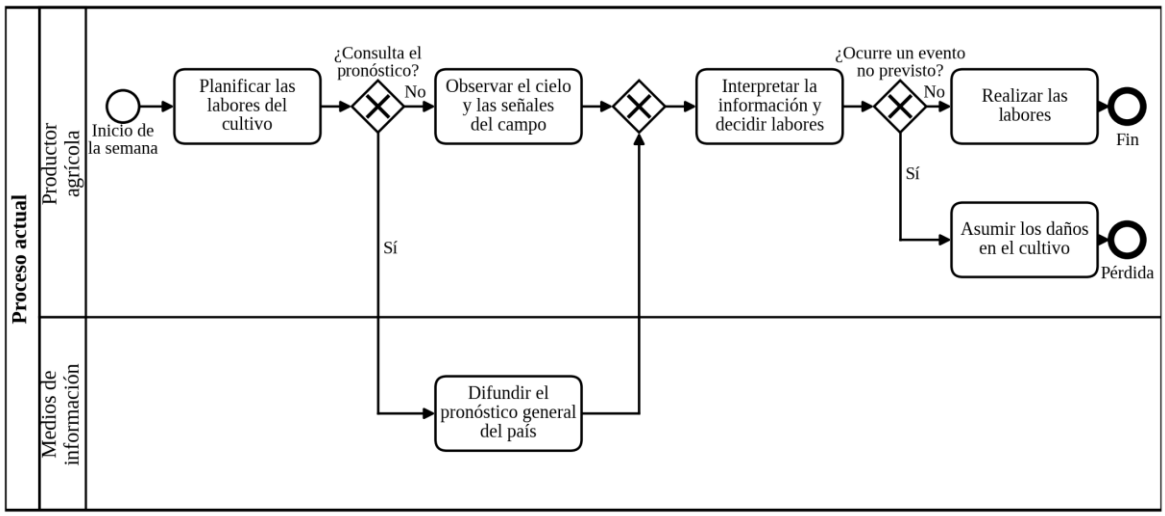
5.9 Procesos de negocio

Este apartado compara cómo se informa hoy el productor sobre el clima y cómo lo hará con el sistema. Ambos procesos se representan con el Modelo y Notación de Procesos de Negocio (BPMN, por sus siglas en inglés), con un carril por participante.

5.9.1 Proceso actual

Hoy el productor decide sus labores con la información que encuentra por su cuenta: según la encuesta, el 49.2 % consulta redes sociales, el 24.6 % la televisión o la radio, el 19.7 % se guía por la observación y el 6.6 % no consulta el pronóstico. La Figura 45 representa este proceso.

Figura 45. *Proceso actual de consulta del clima.*



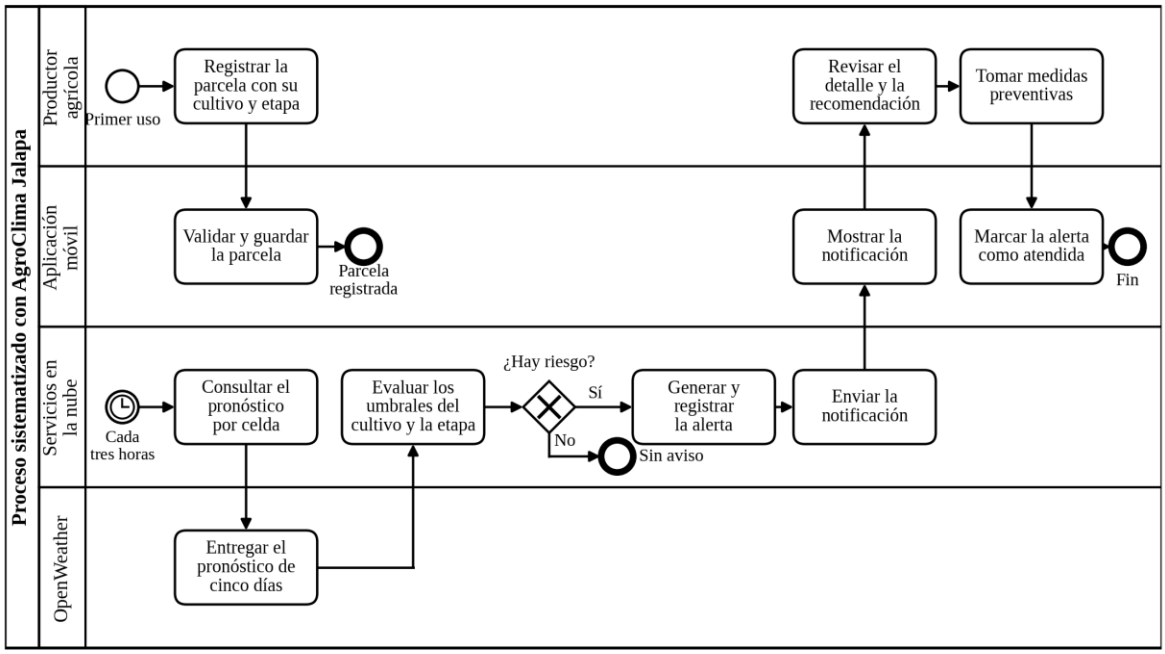
Fuente: Elaboración propia.

Al planificar, el productor consulta el pronóstico general que difunden los medios o, si no lo hace, observa el cielo. En ambos casos interpreta por su cuenta lo que puede pasar en su parcela. Si ocurre un evento que no previó, asume los daños en el cultivo, porque se entera del riesgo cuando ya no hay tiempo para protegerlo.

5.9.2 Proceso sistematizado

Con el sistema, el productor registra su parcela una sola vez y a partir de entonces el aviso le llega cuando hay riesgo para su cultivo. La Figura 46 representa el proceso con cuatro carriles: productor, aplicación, servicios en la nube y OpenWeather.

Figura 46. *Proceso sistematizado con AgroClima Jalapa.*



Fuente: Elaboración propia.

Un evento de tiempo activa cada tres horas la consulta del pronóstico por celda y la evaluación de los umbrales. Si no hay riesgo, el proceso termina sin aviso; si lo hay, se genera la alerta y se envía la notificación. El productor revisa el detalle, toma las medidas y marca la alerta como atendida.

Tabla 76. *Comparación entre el proceso actual y el proceso sistematizado.*

Aspecto	Proceso actual	Proceso sistematizado
Quién inicia	El productor, si busca el pronóstico.	El sistema, cada tres horas.
Fuente	Pronóstico general del país u observación.	Pronóstico de la celda de cada parcela.
Relación con el cultivo	La interpreta el productor.	Se compara con los umbrales del cultivo y la etapa.
Momento del aviso	Cuando el evento ya ocurrió.	Antes del evento.
Registro	No queda registro.	Condiciones y alertas quedan en el historial.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

PRUEBAS DE IMPLEMENTACIÓN

Este capítulo presenta las pruebas realizadas a AgroClima Jalapa en funcionamiento, con la aplicación instalada en un teléfono Android y conectada a los servicios en la nube que la sostienen. Las pruebas comprueban que cada módulo hace lo definido en el análisis y el diseño, y muestran cómo se comporta el sistema en condiciones reales de uso.

Primero se describe el dominio del sistema y la forma de acceder a él. Luego se expone el plan de implementación en producción, con sus fases, responsables y actividades. Después se documentan las pruebas de cada módulo y de sus funcionalidades, con la evidencia obtenida, y por último las pruebas de los informes en pantalla, en Excel, en valores separados por comas (CSV, por sus siglas en inglés), y en PDF.

6.1 Dominio

AgroClima Jalapa es una aplicación móvil nativa para Android que trabaja bajo un esquema cliente-servidor. El cliente es la aplicación instalada en el teléfono del productor. La parte del servidor la forman los servicios de Firebase, que guardan las cuentas, las parcelas y las alertas, y el ciclo automático que GitHub Actions ejecuta cada tres horas para consultar el pronóstico y generar las alertas.

La aplicación se distribuye como un paquete de aplicación de Android (APK, por sus siglas en inglés), que se descarga desde la página del proyecto, donde también están la guía de instalación y el enlace al repositorio del código. Para instalarla se copia el archivo al teléfono, se autoriza la instalación desde orígenes desconocidos y se abre el paquete. Funciona en Android 8.0 o superior y necesita internet para crear la cuenta y registrar parcelas; sin conexión muestra los últimos datos guardados..

Tabla 77. *Datos de acceso al sistema.*

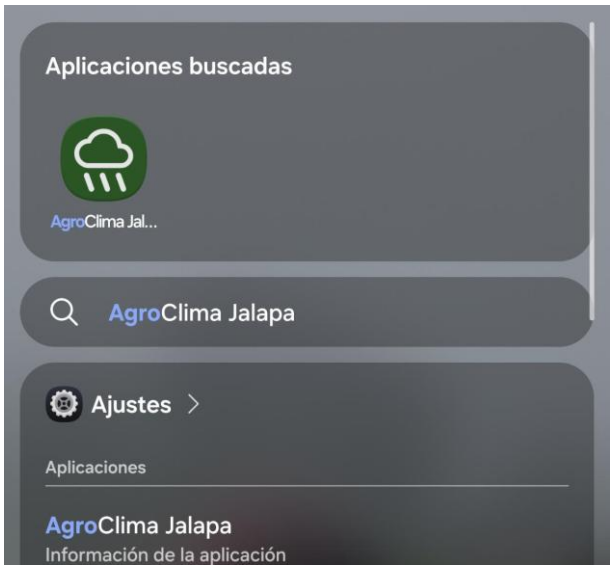
Elemento	Detalle
Modalidad	Aplicación móvil nativa para Android, con servicios en la nube
Versión probada	1.0.0; la encuesta de opinión, en la 1.1.0
Teléfono de prueba	Samsung Galaxy S25 Ultra, Android 16 con One UI 8.5
Requisito del teléfono	Android 8.0 o superior, con servicios de Google Play

Elemento	Detalle
Acceso	Correo electrónico y contraseña, o cuenta de Google
Página del proyecto	https://stevenquintanagt.github.io/Pag_Agroclima/
Código QR de la página	
Repositorio del código	https://github.com/StevenQuintanaGT/Agroclima_Jalapa
Descarga del APK	Desde la página del proyecto; archivo de 39.0 MB de la versión 1.1.0
Servicios en la nube	Firebase Authentication, Cloud Firestore y Firebase Cloud Messaging en el plan Spark, y GitHub Actions

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de acceso consistió en instalar la versión 1.0.0 en un teléfono Samsung Galaxy S25 Ultra con Android 16 y One UI 8.5, abrir la aplicación e iniciar sesión con una cuenta registrada. Se consideraba superada si el panel principal mostraba el clima de la parcela sin errores y si los datos de la cuenta aparecían en la nube. Ambas condiciones se cumplieron.

Figura 47. *Ícono de AgroClima Jalapa en el teléfono de prueba.*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 47 muestra la aplicación ya instalada. Al buscarla en el menú del teléfono aparece con su ícono, una nube con lluvia sobre fondo verde, y con su nombre, lo que confirma que el paquete se instaló correctamente desde el archivo APK.

Figura 48. *Panel principal con la sesión iniciada.*



Fuente: Elaboración propia.

Con la sesión iniciada, el panel principal carga el clima de la parcela seleccionada: la temperatura del momento con la máxima y la mínima del día, la humedad, el viento, la probabilidad de lluvia, la salida y la puesta del sol, y el pronóstico hora por hora (Figura 48). Que estos datos aparezcan confirma la comunicación entre el teléfono, Firebase y el proveedor meteorológico.

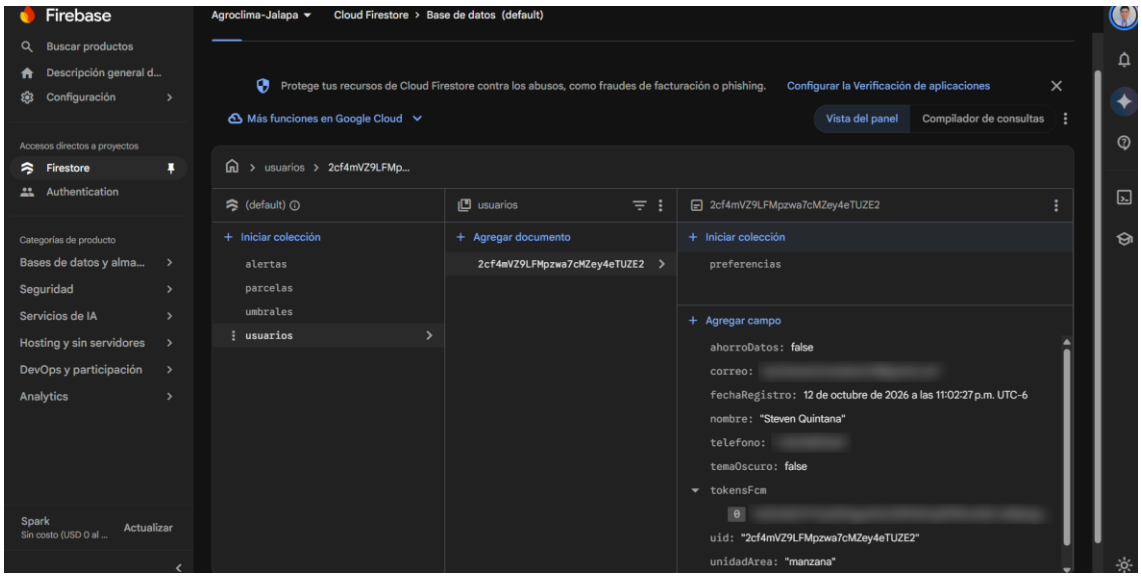
Figura 49. *Proyecto de AgroClima Jalapa en la consola de Firebase.*



Fuente: Elaboración propia.

La consola de Firebase muestra el proyecto en el plan gratuito Spark, con la aplicación de Android registrada. Las gráficas de Cloud Firestore registran las lecturas y escrituras de la base de datos, que empiezan el 11 de octubre, cuando la aplicación comenzó a usarse en el teléfono de prueba (Figura 49).

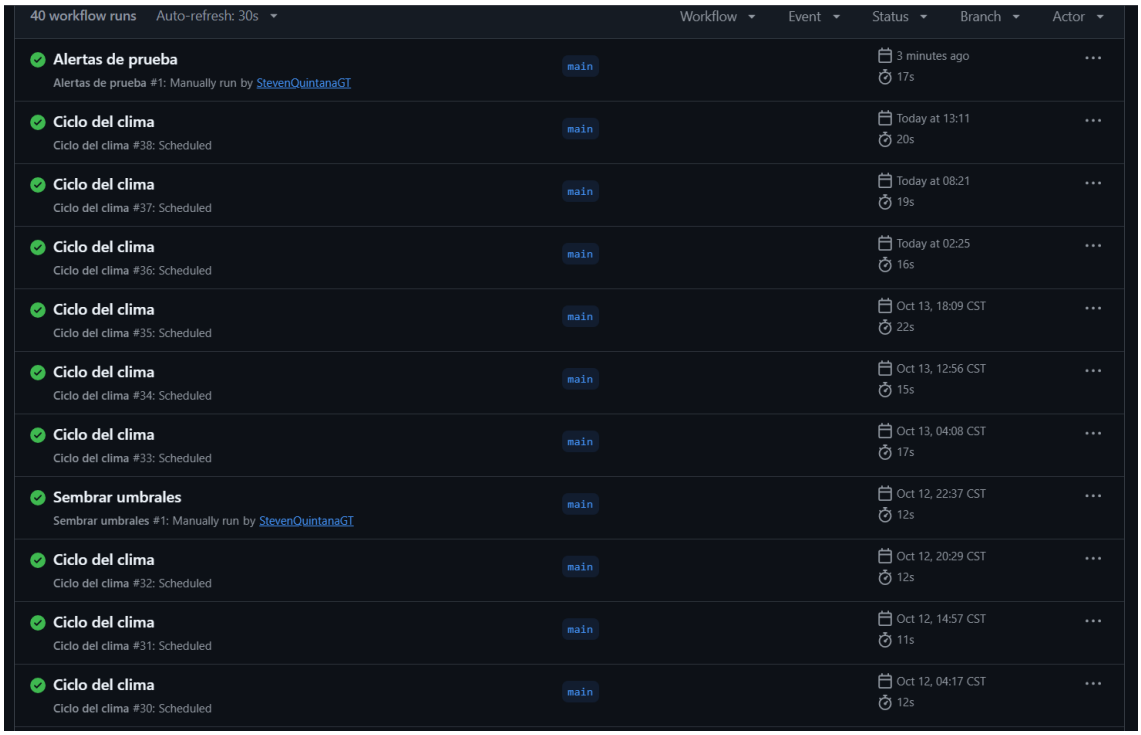
Figura 50. *Documento de la cuenta de prueba en Cloud Firestore.*



Fuente: Elaboración propia.

En Cloud Firestore aparecen las colecciones alertas, parcelas, umbrales y usuarios, a las que la versión 1.1.0 suma la de encuestas. La Figura 50 muestra el documento de la cuenta usada en la prueba, con su nombre, su fecha de registro, sus ajustes y el identificador del teléfono que recibe los avisos. El correo, el número de teléfono y ese identificador se ocultaron en la imagen.

Figura 51. *Ejecuciones del ciclo automático en GitHub Actions.*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 51 muestra el historial de ejecuciones del repositorio. El ciclo del clima se ejecuta solo, programado cada tres horas, y todas las vueltas terminaron sin errores en menos de medio minuto. Las horas de inicio varían porque GitHub puede atrasar las tareas programadas cuando tiene mucha demanda. También aparecen las tareas que se ejecutan a mano para cargar los umbrales y para enviar alertas de prueba.

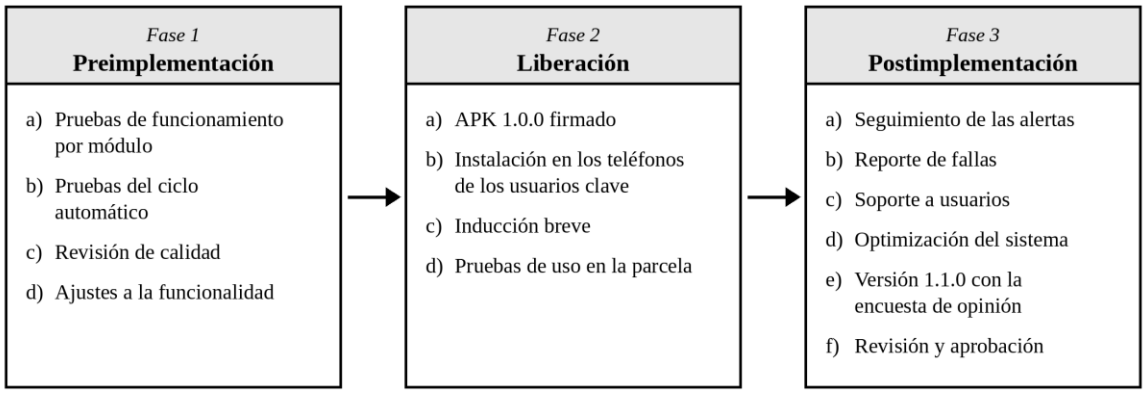
6.2 Plan de implementación en producción

El plan de implementación ordena los pasos para llevar AgroClima Jalapa del equipo de desarrollo a los teléfonos de los productores. Se organiza en tres fases, define quién participa y qué actividades se realizan en cada una, de modo que cada paso se verifique antes de avanzar al siguiente.

6.2.1 Fases de implementación

La Figura 52 muestra las tres fases del plan y sus actividades principales. La primera se realiza con el equipo y el teléfono del desarrollador, la segunda lleva la aplicación a los usuarios clave y la tercera acompaña su uso diario.

Figura 52. *Fases del plan de implementación en producción.*



Fuente: Elaboración propia.

En la preimplementación se prueban todas las funciones antes de entregar la aplicación. Cada módulo se verifica contra sus criterios de aceptación en el emulador y en el teléfono de prueba, incluidos los casos sin conexión, sin permisos y con coordenadas fuera del departamento. También se ejecuta el ciclo automático a mano en GitHub Actions y se envían alertas de prueba, para confirmar que los avisos llegan al teléfono.

En la liberación se genera el APK firmado de la versión 1.0.0 y se instala en los teléfonos de los usuarios clave, con una inducción breve sobre el registro de la parcela y el significado de los colores del semáforo. Las pruebas de esta fase son de uso: el productor registra su parcela, consulta el clima y revisa los avisos en condiciones reales de campo.

En la postimplementación se da seguimiento a las alertas que reciben los usuarios clave y a las fallas que reportan. Las pruebas se enfocan en la estabilidad: que el ciclo automático siga ejecutándose sin errores, que el consumo se mantenga dentro de las cuotas gratuitas y que los avisos lleguen a tiempo. Con esa información se hacen los ajustes y se cierra la implementación. En esta fase se publicó la versión 1.1.0, que agrega la encuesta de opinión con la que los productores evalúan la aplicación.

6.2.2 Responsables

En la Tabla 78 se presentan las personas que participan en la implementación, con su cargo y la forma en que intervienen. Los usuarios clave son tres productores: dos usan la aplicación desde el 14 de octubre de 2026, uno del municipio de Jalapa y otro de San Pedro Pinula, y el tercero, del municipio de Monjas, desde el 26 de octubre. Además, otras diez

personas probaron la aplicación y respondieron la encuesta de opinión: dos productores, dos estudiantes de agronomía y seis personas cercanas al trabajo agrícola, cuyos resultados se presentan en los anexos.

Tabla 78. *Responsables de la implementación.*

No.	Nombre	Cargo	Participación
1	Marlon Steven Quintana Recinos	Desarrollador del sistema	Construye, prueba, libera la aplicación y da soporte.
2	Inga. Sheyla Esquivel	Profesional en informática	Revisa la calidad del sistema y aprueba los ajustes.
3	Licda. Evelyn Aguilar	Coordinadora técnica administrativa	Supervisa el plan y aprueba la implementación.
4	Denis Orellana	Usuario clave, productor de Jalapa	Usa la aplicación en su parcela y reporta lo que encuentra.
5	Edwin Barrera	Usuario clave, productor de San Pedro Pinula	Usa la aplicación en su parcela y reporta lo que encuentra.
6	Ludin López	Usuario clave, productor de Monjas	Usa la aplicación en su parcela y reporta lo que encuentra.

Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Lista de actividades por fase

La Tabla 79 detalla las actividades de cada fase en el orden en que se realizan y el responsable de cada una. Las de preimplementación las ejecuta el desarrollador con la revisión de la profesional en informática, y las de liberación y postimplementación involucran a los usuarios clave, que prueban la aplicación en sus parcelas y reportan lo que encuentran.

Tabla 79. *Actividades por fase de la implementación.*

Fase	Orden	Actividad	Responsable
Preimplementación	1	Pruebas de funcionamiento por módulo en el emulador y en el teléfono de prueba.	Marlon Quintana
	2	Pruebas del ciclo automático y de las alertas de prueba en GitHub Actions.	Marlon Quintana
	3	Revisión de la calidad del sistema.	Inga. Sheyla Esquivel
	4	Ajustes a la funcionalidad.	Marlon Quintana
Liberación	5	Generación y firma del APK 1.0.0.	Marlon Quintana
	6	Instalación en los teléfonos de los usuarios clave e inducción breve.	Marlon Quintana
	7	Pruebas de uso del sistema en la parcela.	Denis Orellana, Edwin Barrera y Ludin López
Postimplementación	8	Seguimiento de las alertas recibidas y reporte de fallas.	Denis Orellana, Edwin Barrera y Ludin López
	9	Soporte a usuarios y corrección de fallas.	Marlon Quintana
	10	Optimización del consumo de cuotas y de los mensajes de alerta.	Marlon Quintana
	11	Publicación de la versión 1.1.0 con la encuesta de opinión.	Marlon Quintana

Fase	Orden	Actividad	Responsable
	12	Respuesta de la encuesta de opinión desde la aplicación.	Usuarios clave y productores que prueban la aplicación
	13	Revisión y aprobación de la implementación.	Licda. Evelyn Aguilar

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Pruebas por módulo

Cada funcionalidad se probó con un caso de prueba funcional de caja negra: se siguen los pasos como lo haría el productor y se compara lo que muestra la aplicación con el resultado esperado, sin revisar el código. Los casos se derivan de los criterios de aceptación de las historias de usuario, y una prueba se considera aprobada cuando lo obtenido coincide con lo esperado.

Las pruebas se ejecutaron en el emulador de Android Studio, con cuentas y parcelas de prueba, y en el teléfono de prueba con la cuenta del desarrollador. Para cada caso se registra su código, la historia que verifica, el tipo de prueba, los datos usados, los pasos, el resultado esperado, el obtenido y su estado, y se acompaña de las capturas que sirven de evidencia.

6.3.1 Módulo de acceso y cuenta

Este módulo resuelve la identidad del productor: el registro, el inicio de sesión, la recuperación de la contraseña y el cierre de la sesión. Se probaron sus dos funciones principales, crear una cuenta nueva e iniciar sesión con una cuenta existente, porque de ellas depende el acceso a todo lo demás. También se probó la encuesta de opinión, que se agregó al perfil en la versión 1.1.0.

6.3.1.1 Crear cuenta

Tabla 80. *Caso de prueba CP-01, crear cuenta.*

Elemento	Descripción
Código	CP-01

Elemento	Descripción
Historia que verifica	HU-01
Tipo de prueba	Funcional de caja negra
Datos de prueba	Nombre Jose Antonio Morales, teléfono +502 45218734, correo jose.morales@agroclima.test y una contraseña de nueve caracteres.
Pasos	a) Abrir la aplicación y tocar «Crear cuenta». b) Escribir el nombre, el teléfono, el correo y la contraseña dos veces. c) Aceptar los términos de uso y tocar «Crear mi cuenta».
Resultado esperado	Cada campo válido muestra una marca verde, la contraseña pide al menos ocho caracteres y la cuenta se crea con su perfil y sus preferencias de aviso.
Resultado obtenido	Los cinco campos se validaron y la cuenta se creó; la aplicación continuó con los permisos de ubicación y de avisos.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. *Pantalla para crear una cuenta.*



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 80 resume el caso y la Figura 53 muestra el formulario ya lleno. Las etiquetas están escritas como se habla, cada dato correcto se marca en verde y la contraseña se puede ver con el botón «Ver». El teléfono se guarda solo como dato de contacto, porque el acceso es con correo o con la cuenta de Google.

6.3.1.2 Iniciar sesión

Tabla 81. *Caso de prueba CP-02, iniciar sesión.*

Elemento	Descripción
Código	CP-02
Historia que verifica	HU-02
Tipo de prueba	Funcional de caja negra
Datos de prueba	Correo jose.morales@agroclima.test con su contraseña.

Elemento	Descripción
Pasos	a) Abrir la aplicación sin sesión activa. b) Escribir el correo y la contraseña y tocar «Entrar». c) Cerrar la aplicación y volver a abrirla.
Resultado esperado	La aplicación entra al panel principal y, al volver a abrirla, la sesión sigue activa sin pedir de nuevo la contraseña.
Resultado obtenido	El ingreso fue correcto y la sesión se mantuvo al volver a abrir la aplicación.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 54. *Pantalla de inicio de sesión.*



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 54 se ve la pantalla de inicio de sesión. Además del correo y la contraseña, ofrece «Olvidé mi contraseña», que envía un enlace al correo, y «Entrar con Google», que usa la cuenta de Google del teléfono sin crear otra contraseña.

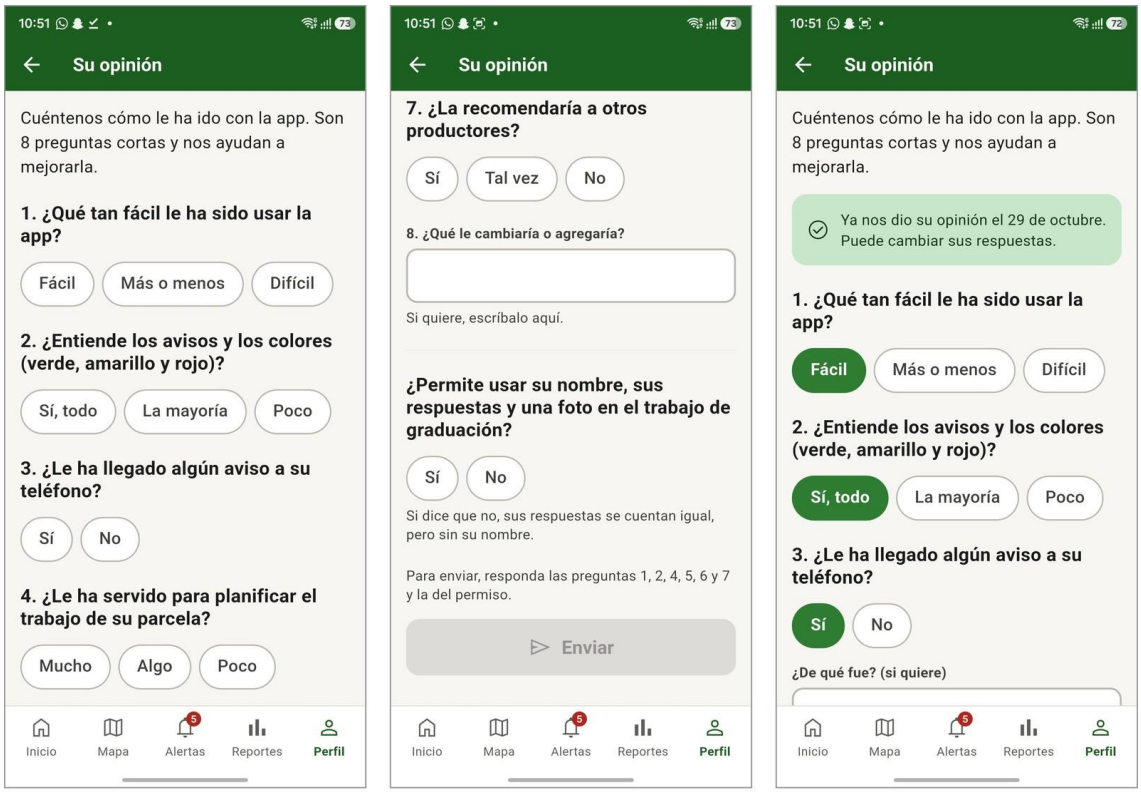
6.3.1.3 Responder la encuesta de opinión

Tabla 82. *Caso de prueba CP-03, responder la encuesta de opinión.*

Elemento	Descripción
Código	CP-03
Historia que verifica	HU-17
Tipo de prueba	Funcional de caja negra
Datos de prueba	Cuenta del desarrollador en el teléfono de prueba, con la versión 1.1.0 y una parcela registrada.
Pasos	a) Abrir «Perfil» y tocar «Su opinión». b) Responder solo algunas preguntas y revisar el botón «Enviar». c) Responder las preguntas obligatorias, dar el permiso y tocar «Enviar». d) Volver a abrir «Su opinión».
Resultado esperado	«Enviar» se habilita solo con las preguntas 1, 2, 4, 5, 6 y 7 y el permiso respondidos. Al enviar, la aplicación agradece la opinión y, al volver a abrir la pantalla, muestra las respuestas guardadas y permite cambiarlas.
Resultado obtenido	«Enviar» siguió deshabilitado mientras faltaban respuestas. La respuesta quedó en la colección encuestas de Cloud Firestore y, al volver a abrir la pantalla, mostró «Ya nos dio su opinión el 29 de octubre» con las respuestas marcadas.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 55. *Encuesta de opinión dentro de la aplicación.*

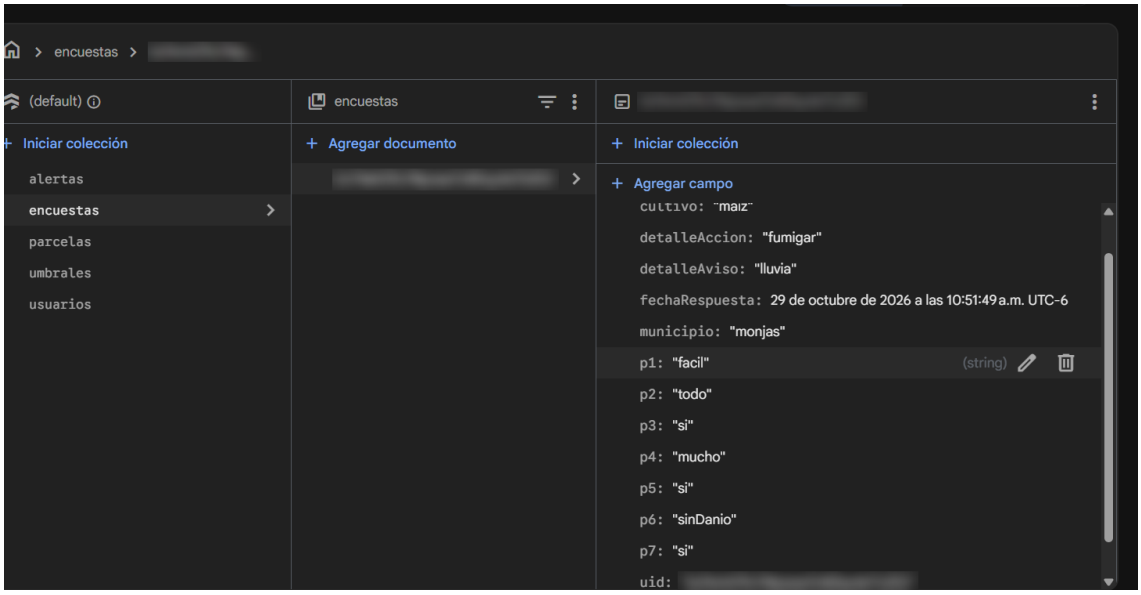


a) b) c)

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 82 resume el caso y la Figura 55 muestra la pantalla «Su opinión». En a) aparecen las primeras preguntas, que se responden con un toque en una opción y no por escrito; en b), el final de la encuesta, con el permiso para usar el nombre, las respuestas y una foto, y el botón «Enviar» todavía deshabilitado; y en c), la encuesta ya respondida, que el productor puede cambiar. Las respuestas no guardan el correo del productor.

Figura 56. *Respuesta guardada en la colección encuestas de Cloud Firestore.*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 56 muestra esa respuesta en la consola de Firebase: un documento de la colección encuestas identificado con el uid del usuario, que se difuminó en la imagen. Además de las respuestas, guarda la fecha del envío y el municipio y el cultivo de la primera parcela. Es la respuesta de la prueba, por lo que no se cuenta entre las de los productores.

6.3.2 Módulo de gestión de parcelas

Este módulo permite registrar los terrenos del productor con su ubicación, su cultivo y su etapa. Se probó el registro, que incluye la validación de que el punto quede dentro del departamento, y la consulta y edición de las parcelas ya registradas.

6.3.2.1 Registrar parcela

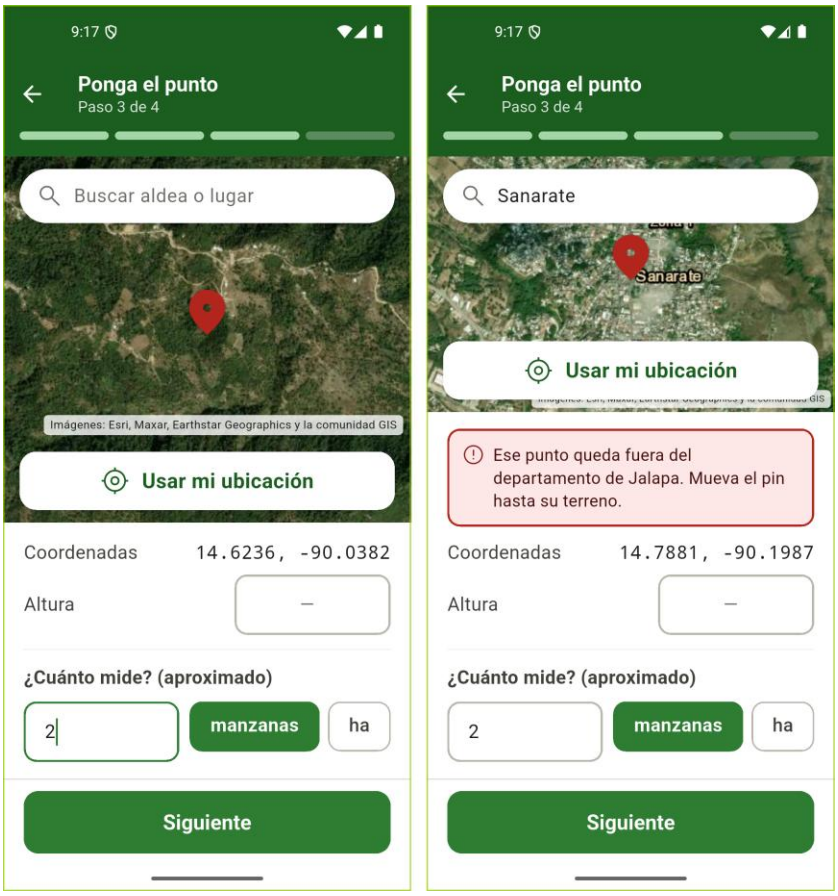
Tabla 83. *Caso de prueba CP-04, registrar parcela.*

Elemento	Descripción
Código	CP-04
Historia que verifica	HU-03, HU-04 y HU-05
Tipo de prueba	Funcional de caja negra, con un caso válido y uno inválido
Datos de prueba	Parcela de prueba en el municipio de Jalapa, de dos manzanas. Punto inválido: Sanarate, en el departamento de El Progreso.

Elemento	Descripción
Pasos	a) Tocar «Agregar parcela» y escribir el nombre y el municipio. b) Elegir el cultivo y la etapa. c) En el paso del mapa, buscar «Sanarate» y tocar «Siguiente». d) Mover el pin a un punto de Jalapa, escribir el tamaño y continuar. e) Revisar el resumen y guardar.
Resultado esperado	Con el punto en Sanarate la aplicación avisa que queda fuera del departamento y no deja continuar. Con el punto en Jalapa avanza y guarda la parcela con sus coordenadas.
Resultado obtenido	Se mostró el aviso «Ese punto queda fuera del departamento de Jalapa» y no se pudo avanzar. Con el punto corregido la parcela se guardó con las coordenadas 14.6236, -90.0382.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. *Paso del mapa en el registro de una parcela.*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 57 muestra el tercer paso del registro. A la izquierda, el punto puesto dentro del departamento, con sus coordenadas y el tamaño del terreno; a la derecha, el aviso que aparece al buscar Sanarate, que queda fuera de Jalapa. El mapa satelital de Esri y el buscador del teléfono permiten encontrar la aldea sin servicios de pago.

6.3.2.2 Consultar, editar y borrar parcelas

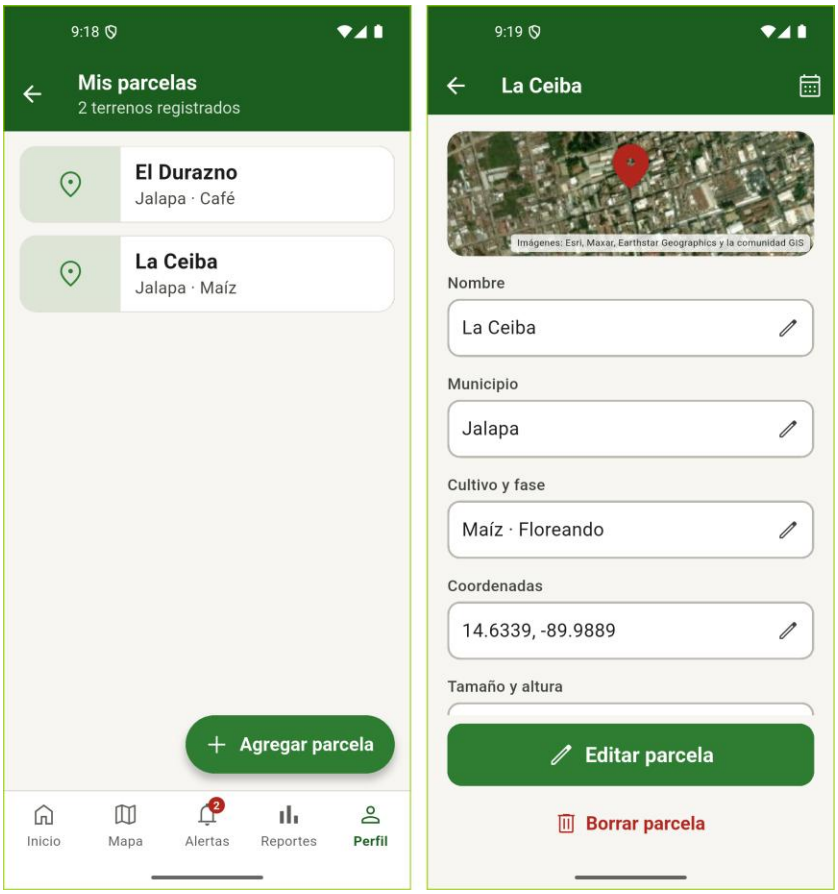
Tabla 84. *Caso de prueba CP-05, consultar, editar y borrar parcelas.*

Elemento	Descripción
Código	CP-05
Historia que verifica	HU-06
Tipo de prueba	Funcional de caja negra
Datos de prueba	Cuenta con dos parcelas: El Durazno, café, y La Ceiba, maíz.

Elemento	Descripción
Pasos	a) Abrir «Mis parcelas» desde el perfil. b) Tocar La Ceiba para ver su detalle. c) Tocar «Editar parcela», cambiar un dato y guardar. d) Volver al detalle y revisar las opciones de borrado.
Resultado esperado	La lista muestra todas las parcelas de la cuenta con su municipio y cultivo. El detalle permite cambiar cualquier dato y borrar la parcela con confirmación.
Resultado obtenido	La lista mostró las dos parcelas, el detalle abrió con todos sus datos y la edición se guardó correctamente.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. *Lista y detalle de las parcelas.*



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 58 aparece, a la izquierda, la lista con los dos terrenos registrados y, a la derecha, el detalle de La Ceiba con su nombre, municipio, cultivo y fase, coordenadas y tamaño. Cada dato tiene un lápiz para corregirlo, y al borrar la parcela su historial se elimina en el siguiente ciclo automático.

6.3.3 Módulo de monitoreo meteorológico

Este módulo muestra la información del clima de cada parcela, que obtiene de OpenWeather y guarda en el teléfono para consultarla sin señal. Se probó la consulta del pronóstico desde el panel y su detalle por día, y el mapa del clima con sus capas de lluvia, nubes, calor y viento.

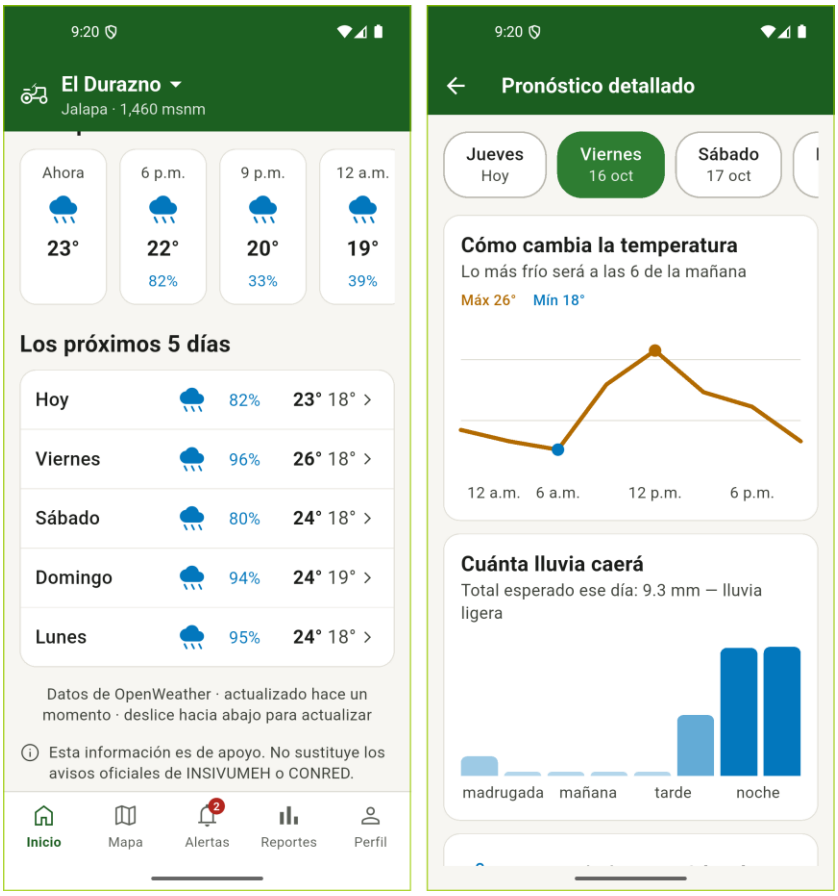
6.3.3.1 Pronóstico de la parcela

Tabla 85. *Caso de prueba CP-06, pronóstico de la parcela.*

Elemento	Descripción
Código	CP-06
Historia que verifica	HU-07 y HU-08
Tipo de prueba	Funcional de caja negra
Datos de prueba	Parcela El Durazno, Jalapa, a 1,460 metros sobre el nivel del mar.
Pasos	a) Abrir el panel principal y elegir la parcela. b) Bajar hasta «Los próximos 5 días». c) Tocar un día para abrir el pronóstico detallado.
Resultado esperado	El panel muestra el pronóstico hora por hora y los próximos cinco días con la probabilidad de lluvia y la máxima y mínima. El detalle de cada día muestra la curva de temperatura y la lluvia esperada.
Resultado obtenido	Se mostraron los cinco días con sus valores y el detalle del viernes con la curva de temperatura, la hora más fría y 9.3 mm de lluvia esperada.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 59. *Pronóstico de cinco días y detalle de un día.*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 59 muestra, a la izquierda, el pronóstico hora por hora y la lista de los próximos cinco días, con el origen de los datos y la nota de que es información de apoyo. A la derecha está el detalle del viernes, con la frase «Lo más frío será a las 6 de la mañana» y las barras de lluvia por franja del día.

6.3.3.2 Mapa del clima por capas

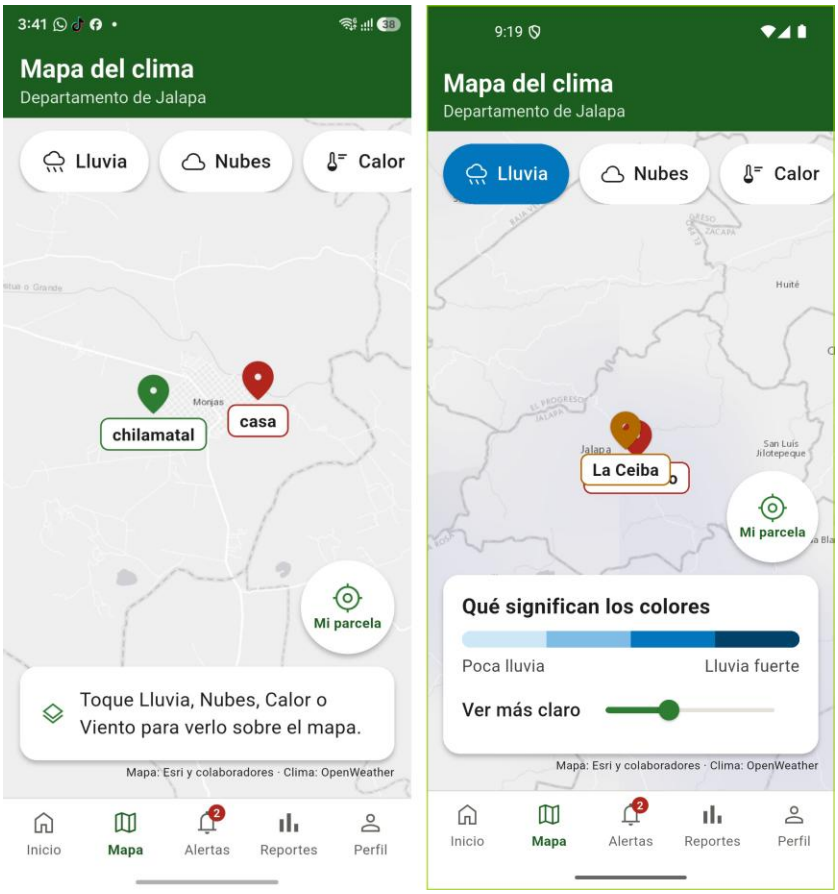
Tabla 86. *Caso de prueba CP-07, mapa del clima por capas.*

Elemento	Descripción
Código	CP-07
Historia que verifica	HU-09
Tipo de prueba	Funcional de caja negra
Datos de prueba	Parcelas registradas en Jalapa y en Monjas.

Elemento	Descripción
Pasos	a) Abrir la pestaña «Mapa». b) Revisar que no haya ninguna capa puesta. c) Tocar «Lluvia» y revisar la leyenda.
Resultado esperado	Al abrir el mapa no se carga ninguna capa, para cuidar la cuota. Al tocar una capa se dibuja sobre el mapa con su leyenda, y las parcelas aparecen con el color de su aviso más alto.
Resultado obtenido	El mapa abrió sin capas y con los pines de las parcelas; al tocar «Lluvia» se dibujó la capa con la leyenda «Qué significan los colores».
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. *Mapa del clima sin capa y con la capa de lluvia.*



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 60, a la izquierda, el mapa base gris de Esri muestra las parcelas con su nombre, una en verde y otra en rojo por tener un aviso de peligro. A la derecha está la capa de lluvia activa, con su escala de colores y el control «Ver más claro». Al pie del mapa se cita la fuente de los mapas y de los datos del clima.

6.3.4 Módulo del motor de alertas

Este módulo genera los avisos en la nube y los presenta en el teléfono. Se probó el envío de notificaciones de punta a punta, desde el ciclo en GitHub Actions hasta el teléfono, y la consulta de las alertas con sus preferencias.

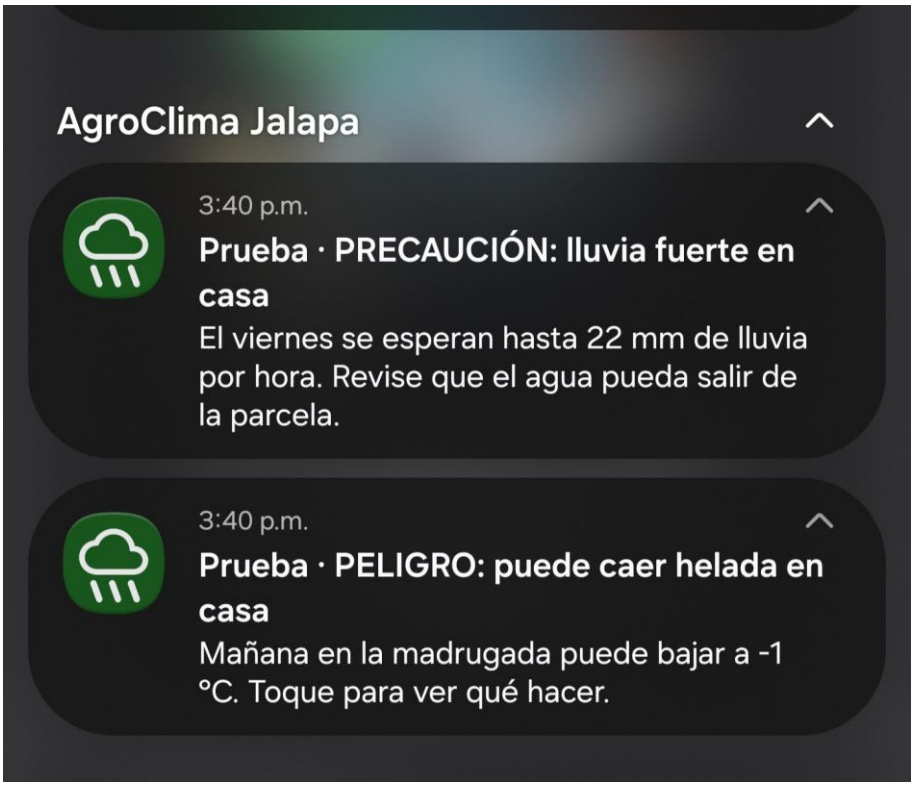
6.3.4.1 Generación y notificación de alertas

Tabla 87. *Caso de prueba CP-08, generación y notificación de alertas.*

Elemento	Descripción
Código	CP-08
Historia que verifica	HU-10
Tipo de prueba	Funcional integral, desde el ciclo en la nube hasta el teléfono
Datos de prueba	Parcela casa, maíz, en Monjas. Escenario de prueba con una helada y una lluvia fuerte.
Pasos	a) Ejecutar a mano la tarea «Alertas de prueba» en GitHub Actions. b) Esperar con la aplicación cerrada. c) Revisar las notificaciones del teléfono.
Resultado esperado	Llega una notificación por cada riesgo, con el nivel del semáforo, el riesgo, la parcela, cuándo ocurre y qué conviene hacer.
Resultado obtenido	Llegaron dos notificaciones al Samsung Galaxy S25 Ultra: «PELIGRO: puede caer helada en casa» y «PRECAUCIÓN: lluvia fuerte en casa», con su explicación y su recomendación.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 61. *Notificaciones de prueba recibidas en el teléfono.*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 61 muestra las dos notificaciones, recibidas a las 3:40 p.m. con la aplicación cerrada. Cada una dice qué puede pasar y cuándo, por ejemplo «Mañana en la madrugada puede bajar a -1 °C», y cierra con una acción. La palabra «Prueba» al inicio las distingue de los avisos reales.

6.3.4.2 Centro de alertas y preferencias

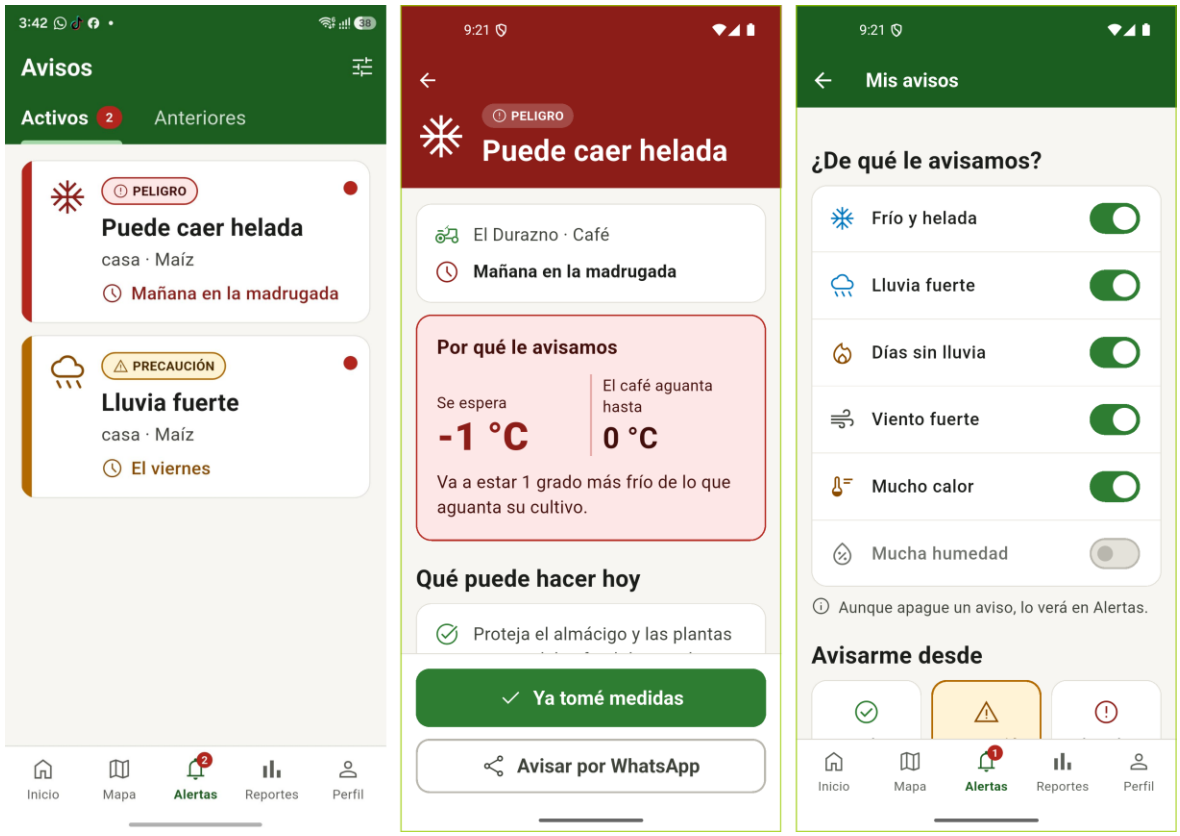
Tabla 88. *Caso de prueba CP-09, centro de alertas y preferencias.*

Elemento	Descripción
Código	CP-09
Historia que verifica	HU-11 y HU-12
Tipo de prueba	Funcional de caja negra
Datos de prueba	Alertas activas de helada y de lluvia fuerte; preferencias con el aviso de mucha humedad apagado.

Elemento	Descripción
Pasos	a) Abrir la pestaña «Alertas». b) Tocar la alerta de helada para ver su detalle. c) Tocar «Ya tomé medidas». d) Abrir «Mis avisos» y apagar un tipo de aviso.
Resultado esperado	Las alertas aparecen ordenadas con peligro primero. El detalle compara el valor esperado con lo que aguanta el cultivo y sugiere qué hacer. Un aviso apagado deja de sonar, pero la alerta sigue visible en la aplicación.
Resultado obtenido	Las alertas se ordenaron por nivel, el detalle mostró -1 °C frente a 0 °C con sus recomendaciones, la alerta quedó marcada como atendida y el cambio en «Mis avisos» se guardó.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 62. *Centro de alertas, detalle de una alerta y preferencias de aviso.*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 62 muestra, de izquierda a derecha, el centro de alertas con los dos avisos activos, el detalle de la helada con la sección «Por qué le avisamos» y los botones «Ya tomé medidas» y «Avisar por WhatsApp», y la pantalla «Mis avisos» con los seis tipos de riesgo y la opción «Avisarme desde».

6.3.5 Módulo de historial y reportes

Este módulo trabaja con la información ya guardada y no consulta servicios externos, por lo que funciona aunque el teléfono no tenga señal. Se probó el registro día por día de una parcela y el historial de los avisos anteriores, con sus filtros por tipo de día y por parcela.

6.3.5.1 Registro día por día

Tabla 89. *Caso de prueba CP-10, registro día por día.*

Elemento	Descripción
Código	CP-10
Historia que verifica	HU-13
Tipo de prueba	Funcional de caja negra
Datos de prueba	Parcela La Ceiba con varios días de registro, incluido un día con aviso.
Pasos	a) Abrir el detalle de la parcela y tocar el ícono del calendario. b) Revisar la lista de días. c) Usar los filtros «Con lluvia» y «Con aviso».
Resultado esperado	Se muestra un renglón por día con la lluvia, los milímetros, la máxima y la mínima, y se marcan los días que tuvieron aviso.
Resultado obtenido	La lista mostró del 8 al 14 de octubre; el 10 de octubre apareció con 23 mm y un aviso, y los filtros funcionaron.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 63. *Registro día por día de una parcela.*



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 63 cada día dice cómo estuvo la lluvia con palabras sencillas, como «Sin lluvia» o «Llovió bastante», junto con los milímetros y las temperaturas. El 10 de octubre lleva una franja del color de su aviso.

6.3.5.2 Avisos anteriores

Tabla 90. *Caso de prueba CP-11, avisos anteriores.*

Elemento	Descripción
Código	CP-11
Historia que verifica	HU-14
Tipo de prueba	Funcional de caja negra
Datos de prueba	Alertas de días pasados de las parcelas El Durazno y La Ceiba.

Elemento	Descripción
Pasos	a) Abrir la pestaña «Alertas» y elegir «Anteriores». b) Filtrar por una parcela.
Resultado esperado	Se listan los avisos ya pasados, del más reciente al más antiguo, con su nivel, la parcela y si el productor tomó medidas, y se pueden filtrar por parcela.
Resultado obtenido	Se mostraron los avisos anteriores con su nivel y la marca «Ya tomó medidas», y el filtro por parcela funcionó.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 64. *Historial de avisos anteriores.*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 64 muestra la pestaña de avisos anteriores con los filtros por parcela. Cada tarjeta indica el nivel, el riesgo, la parcela con su cultivo y la fecha, y en verde aparece «Ya tomó medidas» cuando el productor confirmó haber actuado.

6.4 Pruebas de obtención de informes

Los informes de AgroClima Jalapa se arman en el teléfono con los datos ya guardados, sin consultar servicios externos y sin necesidad de señal. El productor elige la parcela y el período, de 7 días, de 30 días o con fechas a su gusto, consulta el resumen en pantalla y puede guardarlo o compartirlo en tres formatos, o imprimirlo.

Cada formato se probó con un caso funcional de caja negra y con una verificación de datos: además de revisar que el archivo se genere y se abra, se comprobó que sus totales coincidan con los datos día por día. Para los archivos se usó el resumen de 30 días de la parcela de prueba La Ceiba, del 16 de septiembre al 15 de octubre de 2026, generado en el emulador con datos de prueba.

6.4.1 Informe en pantalla

Tabla 91. *Caso de prueba CP-12, informe en pantalla.*

Elemento	Descripción
Código	CP-12
Historia que verifica	HU-16
Tipo de prueba	Funcional de caja negra
Datos de prueba	Parcela chilamatal, en Monjas, con el período de 7 días.
Pasos	a) Abrir la pestaña «Reportes». b) Elegir la parcela y el período de 7 días. c) Revisar los indicadores y las gráficas.
Resultado esperado	El resumen muestra los días con lluvia, la noche más fría, la lluvia total y los avisos de peligro del período, con gráficas de temperatura y de lluvia acompañadas de una frase que las explica.

Elemento	Descripción
Resultado obtenido	Del 8 al 14 de octubre el resumen mostró un día con lluvia, 19 °C como la noche más fría, 5 mm en total y ningún aviso de peligro, con la frase sobre la temperatura de la semana.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 65. *Resumen de 7 días en pantalla.*



Fuente: Elaboración propia.

El informe en pantalla permite trabajar directamente con la información de la parcela. En la Figura 65 el productor puede cambiar la parcela desde el encabezado o el período con los botones superiores, y el indicador de peligro aparece en verde cuando no hubo avisos. El botón «Enviar» abre las opciones para guardar o compartir el informe.

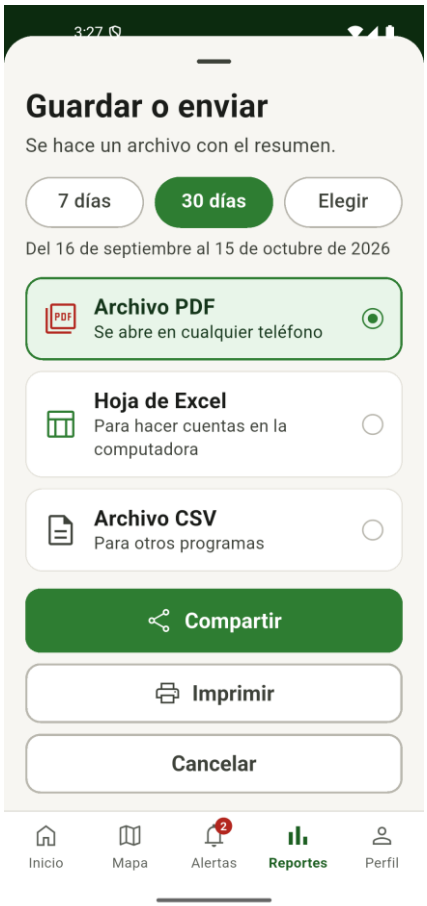
6.4.2 Crear Excel

Tabla 92. *Caso de prueba CP-13, crear Excel.*

Elemento	Descripción
Código	CP-13
Historia que verifica	HU-16
Tipo de prueba	Funcional de caja negra y verificación de datos
Datos de prueba	Parcela La Ceiba, maíz, en Jalapa, con el período de 30 días.
Pasos	a) En «Reportes», tocar «Enviar». b) Elegir 30 días y «Hoja de Excel». c) Tocar «Compartir» y guardar el archivo. d) Abrirlo en la computadora y comparar los totales con la hoja de días.
Resultado esperado	Se genera un archivo de Excel con las hojas de resumen, días y avisos, con la temperatura en grados centígrados y la lluvia en milímetros, y con totales que coinciden con los datos de cada día.
Resultado obtenido	Se generó el archivo agroclima_la-ceiba_20260916_20261015.xlsx con las tres hojas. Los totales coincidieron: 14 días con lluvia, 13 °C como la mínima más baja, 188.4 mm acumulados y un aviso de peligro. Las columnas se abren con el ancho predeterminado y algunos textos se ven cortados hasta ajustarlas.
Estado	Aprobada, con una observación sobre el ancho de las columnas

Fuente: Elaboración propia.

Figura 66. *Hoja «Guardar o enviar» con los formatos del informe.*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 66 muestra la hoja que se abre con el botón «Enviar». Arriba se elige el período, en el centro el formato, cada uno con su ícono y una frase sobre para qué sirve, y abajo las acciones «Compartir», «Imprimir» y «Cancelar».

Figura 67. *Archivo de Excel generado por la aplicación.*

Hoja «Resumen»

	A	B
1	Resumen del clima	
2	Nombre	La Ceiba
3	Municipio	Jalapa
4	Cultivo	Maíz
5	Desde	2026-09-16
6	Hasta	2026-10-15
7	días con lluvia	14
8	la noche más fría	13.00
9	llovió en total	188.40
10	avisos de peligro	1

Hoja «Días»

	A	B	C	D	E	F
1	Fecha	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Registrada (°C)	Lluvia (mm)	Aviso
2	2026-09-16	16.00	29.00	23.00	0.00	
3	2026-09-17	14.00	26.00	21.00	0.00	
4	2026-09-18	17.00	28.00	24.00	1.80	
5	2026-09-19	15.00	28.00	22.00	0.00	
6	2026-09-20	13.00	25.00	20.00	0.20	PRECAUCIÓN
7	2026-09-21	16.00	27.00	23.00	9.70	
8	2026-09-22	14.00	27.00	21.00	35.40	
9	2026-09-23	17.00	29.00	24.00	0.00	
10	2026-09-24	15.00	26.00	22.00	0.00	
11	2026-09-25	13.00	26.00	20.00	6.10	
12	2026-09-26	16.00	28.00	23.00	22.80	
13	2026-09-27	14.00	25.00	21.00	0.40	
14	2026-09-28	17.00	30.00	24.00	14.60	
15	2026-09-29	15.00	27.00	22.00	3.20	
16	2026-09-30	13.00	24.00	20.00	0.00	
17	2026-10-01	16.00	29.00	23.00	0.00	PRECAUCIÓN
18	2026-10-02	14.00	26.00	21.00	1.80	
19	2026-10-03	17.00	28.00	24.00	0.00	
20	2026-10-04	15.00	28.00	22.00	0.20	
21	2026-10-05	13.00	25.00	20.00	9.70	
22	2026-10-06	16.00	27.00	23.00	35.40	
23	2026-10-07	14.00	27.00	21.00	0.00	
24	2026-10-08	17.00	29.00	24.00	0.00	
25	2026-10-09	15.00	26.00	22.00	6.10	
26	2026-10-10	13.00	26.00	20.00	22.80	PELIGRO
27	2026-10-11	16.00	28.00	23.00	0.40	
28	2026-10-12	14.00	25.00	21.00	14.60	
29	2026-10-13	17.00	30.00	24.00	3.20	
30	2026-10-14	15.00	27.00	22.00	0.00	
31	2026-10-15					

Hoja «Avisos»

	A	B	C	D	E	F
1	Fecha	Riesgo	Nivel	Se esperaba	Lo que aguanta	¿Tomó medidas?
2	2026-09-20	Lluvia fuerte	PRECAUCIÓN	18 mm por hora	15 mm por hora	No
3	2026-10-01	Viento fuerte	PRECAUCIÓN	32 km/h	30 km/h	No
4	2026-10-10	Lluvia fuerte	PELIGRO	35 mm por hora	30 mm por hora	Sí

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 67 se ven las tres hojas del archivo. La hoja de resumen repite los indicadores de la pantalla, la de días tiene una fila por día con la mínima, la máxima, la temperatura registrada, la lluvia y el aviso, y la de avisos detalla cada alerta con lo que se esperaba, lo que aguanta el cultivo y si el productor tomó medidas. En la figura las columnas se ajustaron al contenido para que se lean completas.

6.4.3 Crear CSV

Tabla 93. *Caso de prueba CP-14, crear CSV.*

Elemento	Descripción
Código	CP-14

Elemento	Descripción
Historia que verifica	HU-16
Tipo de prueba	Funcional de caja negra y verificación de datos
Datos de prueba	Parcela La Ceiba con el período de 30 días.
Pasos	a) En «Guardar o enviar», elegir «Archivo CSV». b) Tocar «Compartir» y guardar el archivo. c) Abrirlo en un editor de texto y en una hoja de cálculo.
Resultado esperado	Se genera un archivo de texto con los valores separados por comas, una fila de encabezados y una fila por día, que otros programas pueden leer sin perder las tildes.
Resultado obtenido	El archivo tuvo 31 filas, el encabezado y una por cada día del período. El 15 de octubre quedó sin valores porque el día aún no había terminado, y las palabras con tilde se leyeron bien.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 68. *Contenido del archivo CSV generado por la aplicación.*

```
 1  fecha,temperatura_minima,temperatura_maxima,temperatura_registrada,lluvia_mm,aviso
 2  2026-09-16,16.0,29.0,23.0,0.0,
 3  2026-09-17,14.0,26.0,21.0,0.0,
 4  2026-09-18,17.0,28.0,24.0,1.8,
 5  2026-09-19,15.0,28.0,22.0,0.0,
 6  2026-09-20,13.0,25.0,20.0,0.2,PRECAUCIÓN
 7  2026-09-21,16.0,27.0,23.0,9.7,
 8  2026-09-22,14.0,27.0,21.0,35.4,
 9  2026-09-23,17.0,29.0,24.0,0.0,
10  2026-09-24,15.0,26.0,22.0,0.0,
11  2026-09-25,13.0,26.0,20.0,6.1,
12  2026-09-26,16.0,28.0,23.0,22.8,
13  2026-09-27,14.0,25.0,21.0,0.4,
    …
26  2026-10-10,13.0,26.0,20.0,22.8,PELIGRO
27  2026-10-11,16.0,28.0,23.0,0.4,
28  2026-10-12,14.0,25.0,21.0,14.6,
29  2026-10-13,17.0,30.0,24.0,3.2,
30  2026-10-14,15.0,27.0,22.0,0.0,
31  2026-10-15,,,,,
```

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 68 muestra el archivo abierto como texto. La primera fila trae los nombres de las columnas sin espacios ni tildes, para que otros programas los lean sin problemas, y cada fila

siguiente es un día con sus valores separados por comas. Los días con aviso llevan el nivel en la última columna.

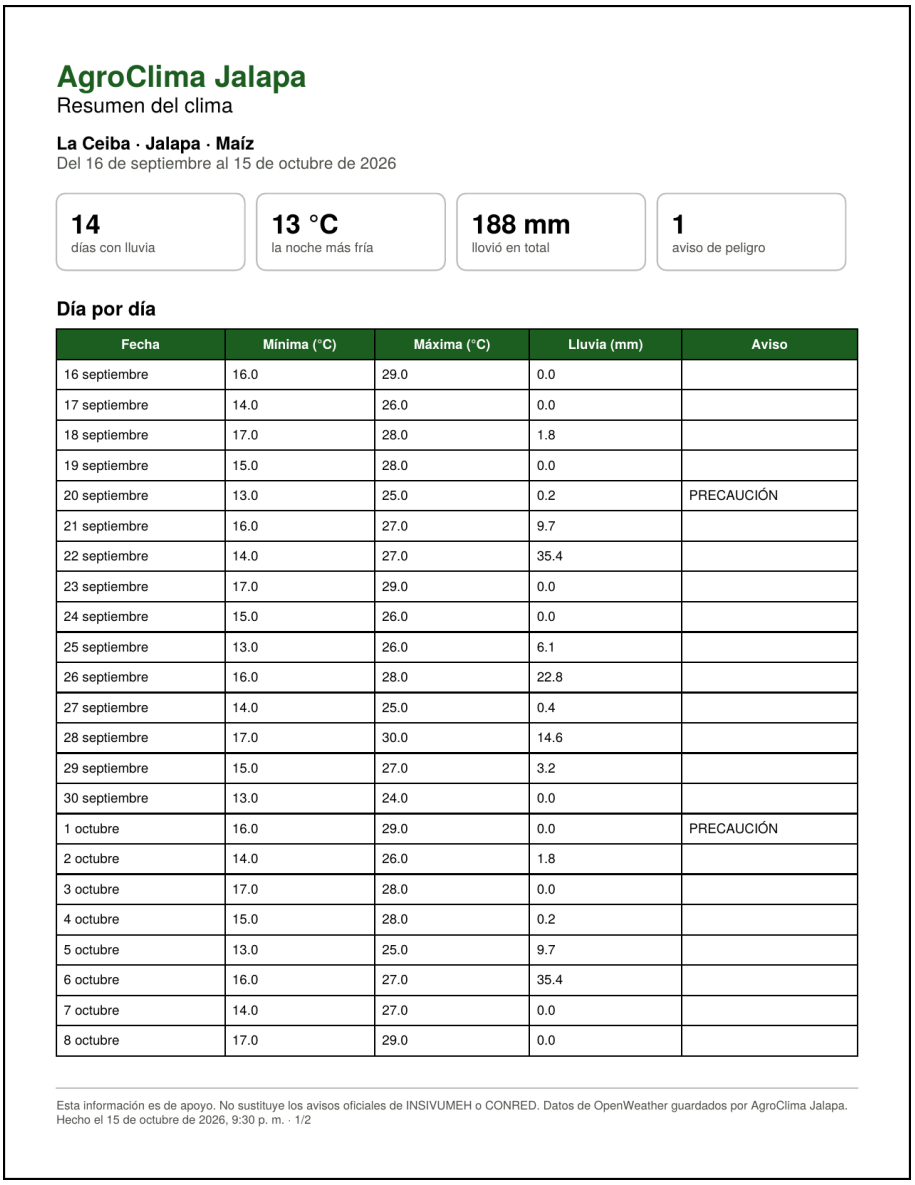
6.4.4 Crear PDF

Tabla 94. *Caso de prueba CP-15, crear PDF.*

Elemento	Descripción
Código	CP-15
Historia que verifica	HU-16
Tipo de prueba	Funcional de caja negra y verificación de datos
Datos de prueba	Parcela La Ceiba con el período de 30 días.
Pasos	a) En «Guardar o enviar», elegir «Archivo PDF». b) Tocar «Compartir» y guardar el archivo. c) Abrir el PDF y revisar su contenido.
Resultado esperado	Se genera un PDF con el nombre de la aplicación, la parcela y el período, los cuatro indicadores, la tabla día por día, la tabla de avisos, la nota de que es información de apoyo y la fecha en que se hizo.
Resultado obtenido	Se generó un PDF de dos páginas con todo el contenido esperado. Los días sin dato llevan un guion y los totales coinciden con los de la hoja de Excel.
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 69. *Primera página del informe en PDF.*



AgroClima Jalapa

Resumen del clima

La Ceiba · Jalapa · Maíz

Del 16 de septiembre al 15 de octubre de 2026

14	13 °C	188 mm	1
días con lluvia	la noche más fría	llovió en total	aviso de peligro

Día por día

Fecha	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Lluvia (mm)	Aviso
16 septiembre	16.0	29.0	0.0	
17 septiembre	14.0	26.0	0.0	
18 septiembre	17.0	28.0	1.8	
19 septiembre	15.0	28.0	0.0	
20 septiembre	13.0	25.0	0.2	PRECAUCIÓN
21 septiembre	16.0	27.0	9.7	
22 septiembre	14.0	27.0	35.4	
23 septiembre	17.0	29.0	0.0	
24 septiembre	15.0	26.0	0.0	
25 septiembre	13.0	26.0	6.1	
26 septiembre	16.0	28.0	22.8	
27 septiembre	14.0	25.0	0.4	
28 septiembre	17.0	30.0	14.6	
29 septiembre	15.0	27.0	3.2	
30 septiembre	13.0	24.0	0.0	
1 octubre	16.0	29.0	0.0	PRECAUCIÓN
2 octubre	14.0	26.0	1.8	
3 octubre	17.0	28.0	0.0	
4 octubre	15.0	28.0	0.2	
5 octubre	13.0	25.0	9.7	
6 octubre	16.0	27.0	35.4	
7 octubre	14.0	27.0	0.0	
8 octubre	17.0	29.0	0.0	

Esta información es de apoyo. No sustituye los avisos oficiales de INSIVUMEH o CONRED. Datos de OpenWeather guardados por AgroClima Jalapa.
Hecho el 15 de octubre de 2026, 9:30 p. m. · 1/2

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 69 aparece la primera página del informe. El encabezado indica la parcela, el municipio, el cultivo y las fechas, siguen los cuatro indicadores en recuadros y después la tabla día por día. Al pie se aclara que la información es de apoyo y no sustituye los avisos de INSIVUMEH o CONRED.

6.4.5 Imprimir

Tabla 95. *Caso de prueba CP-16, imprimir.*

Elemento	Descripción
Código	CP-16
Historia que verifica	HU-16
Tipo de prueba	Funcional de caja negra
Datos de prueba	Parcela La Ceiba con el período de 30 días.
Pasos	a) En «Guardar o enviar», tocar «Imprimir». b) Revisar la vista previa y las propiedades de impresión. c) Elegir la impresora y confirmar.
Resultado esperado	Se abre el servicio de impresión de Android con la vista previa del informe y las opciones de impresora, número de copias y tamaño de papel.
Resultado obtenido	Se abrió la ventana de impresión con la vista previa de las dos páginas, una copia y papel ISO A4. En el emulador la impresora disponible fue «Guardar como PDF».
Estado	Aprobada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 70. *Ventana de impresión con la vista previa del informe.*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 70 muestra la ventana de impresión lista para indicar sus propiedades. En la parte superior se elige la impresora, el número de copias y el tamaño de papel, y debajo aparece la vista previa de cada página. Si el teléfono no tiene impresora configurada, el informe se puede guardar como PDF o compartir.

7. Conclusiones

Conclusiones del trabajo en general

a) Se diseñó una arquitectura cliente-servidor sin servidor propio que integra la aplicación con OpenWeather, por medio de su interfaz REST, y con los servicios de Firebase. La consulta agrupada por celdas de 0.05 grados y el almacenamiento en el teléfono permiten obtener el clima de cada parcela dentro de la cuota gratuita y mostrarlo aun sin señal, con un costo de operación de cero.

b) Se implementó un motor de alertas que cada tres horas compara el pronóstico de cinco días con un catálogo de umbrales por cultivo y etapa, respaldado en fuentes agronómicas, para lluvia intensa, helada, sequía, viento, calor y humedad. Las pruebas confirmaron que las notificaciones llegan al teléfono con la aplicación cerrada e indican el nivel de riesgo, la parcela, el momento y la acción sugerida.

c) La funcionalidad se validó con dieciséis casos de prueba aprobados, uno con una observación menor, y con una encuesta de opinión dentro de la aplicación que respondieron trece personas: diez la encontraron fácil de usar y las siete que deciden sobre cultivos actuaron en su parcela por un aviso. Con ello, la hipótesis se acepta parcialmente: se comprueba la mejora en las decisiones preventivas, y la reducción de pérdidas queda como evidencia preliminar, porque medirla requiere un ciclo de cultivo completo, de varios meses, y la validación abarcó pocas semanas.

Conclusiones del proyecto

a) La aplicación reúne en un solo lugar las condiciones actuales, el pronóstico hora por hora y de cinco días, el mapa por capas y los avisos de cada parcela, con textos en el lenguaje del campo, de modo que el productor ya no depende de fuentes dispersas o de alcance nacional para planificar sus labores.

b) La generación de alertas quedó automatizada en la nube y no depende de que el productor abra la aplicación: la tarea programada evalúa los umbrales, evita avisos repetidos y envía la notificación, que además queda registrada en el centro de alertas del teléfono.

c) Cada parcela se registra con coordenadas validadas dentro del departamento y su clima se consulta para la celda que le corresponde, por lo que dos parcelas del mismo municipio pueden recibir pronósticos y avisos distintos según su ubicación real.

d) El sistema conserva el registro día por día de cada parcela y el historial de avisos, y los resume en informes que se consultan en pantalla, se guardan en PDF, Excel o CSV o se imprimen. Las pruebas comprobaron que los totales de los informes coinciden con los datos registrados.

8. Recomendaciones

Recomendaciones del trabajo en general

a) Contrastar los datos de OpenWeather con mediciones locales, como las estaciones del INSIVUMEH o pluviómetros en algunas parcelas, para conocer el margen de error del pronóstico por celda. Si el número de parcelas crece, evaluar guardar el pronóstico por celda en lugar de por parcela para mantenerse dentro de la cuota gratuita.

b) Revisar los umbrales y los mensajes de alerta con técnicos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y con extensionistas, en especial los de hortalizas, que todavía usan solo los criterios generales, y ajustar el catálogo con lo observado en campo, dado que puede cambiarse sin publicar una versión nueva.

c) Continuar la validación durante al menos un ciclo de cultivo completo y con productores de los siete municipios, con el registro de las medidas tomadas después de cada aviso y las pérdidas evitadas, para medir con datos la efectividad de las alertas y comprobar la hipótesis en su totalidad.

Recomendaciones del proyecto

a) Acompañar la entrega de la aplicación con una inducción breve en cada comunidad y apoyarse en los técnicos agrícolas para difundirla, porque reunir la información en un solo lugar solo es útil si el productor sabe encontrarla e interpretarla. También conviene atender las sugerencias de la encuesta: letras más grandes y un mapa más claro.

b) Documentar el comportamiento de las notificaciones en distintos modelos de teléfono, porque el ahorro de energía puede retrasar los avisos, y vigilar que la tarea programada de GitHub Actions siga activa, porque en los repositorios públicos se desactiva después de sesenta días sin cambios.

c) Verificar con el productor la ubicación de cada parcela durante la inducción, porque la precisión del aviso depende de que el punto esté bien colocado, y considerar en una versión futura el registro del contorno completo del terreno.

d) Ajustar el ancho de las columnas del archivo de Excel y agregar gráficas a los informes exportados, para que el productor o el técnico puedan usarlos directamente sin modificarlos.

Recomendación final

Quedan fuera del alcance de este trabajo varios aspectos que otro estudiante puede retomar: la versión para iOS y la publicación en Google Play; la instalación de sensores propios en las parcelas para medir lluvia y temperatura; los avisos por mensaje de texto o por voz para productores sin teléfono inteligente; el uso de los datos acumulados para pronósticos locales con aprendizaje automático; y una versión para técnicos que reúna la información de varias comunidades.

Referencias bibliográficas

Alegsa. (2025). *Definición de Android (sistema operativo móvil)*. Recuperado de https://www.alegsa.com.ar/Dic/android.php

AlfaIOT. (2024). *Protección de datos y seguridad en redes IoT agrícolas*. Madrid, España: Blog de Tecnología Industrial. Recuperado de https://alfaiot.com/iot/proteccion-de-datos-y-seguridad-en-iot/

Alianza Bioversity & CIAT. (2023). *Resiliencia a través de la acción climática: Informe Anual 2023*. Ciudad de Guatemala, Guatemala. Recuperado de https://alliancebioversityciat.org/es/publications/informe-anual-2023

Amara. (2024). *Qué es una API REST, para qué sirve y ejemplos prácticos*. Recuperado de https://amara-marketing.com/tecnologia/api-rest/

Android Developers. (2026). *Configura Android Studio y el SDK de Android*. Mountain View, EE. UU.: Google. Recuperado de https://developer.android.com/studio/intro?hl=es-419

Área F5. (2023). *Android Studio: qué es y para qué sirve*. Recuperado de https://areaf5.es/blog/android-studio-que-es-y-para-que-sirve

Arista Cortes, J., Gordillo Salinas, V. M., & Castillo Gonzalez, J. A. (2023). *Uso del API de ESRI Javascript para Web Mapping aplicado a la agronomía*. Trabajo presentado en el IX Congreso Nacional y II Congreso Internacional de Riego, Drenaje y Biosistemas, Chapingo, México. Recuperado de https://www.riego.mx/congresos/comeii2024/assets/files/thematicPresentationExtended/24016-Extenso.pdf

Arreaga, J. (2022). *Uso de modelos de ensamble para la predicción de variables meteorológicas en Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Editorial Universitaria. Recuperado de https://repositorio.usac.edu.gt/handle/123456789/17542

Arsys. (2024). *Qué es Visual Studio Code y cuáles son sus ventajas*. Recuperado de https://www.arsys.es/blog/que-es-visual-studio-code-y-cuales-son-sus-ventajas

Arsys. (2024). *Tablero kanban: qué es y cómo utilizar esta metodología*. Recuperado de https://www.arsys.es/blog/tablero-kanban-que-es-y-como-utilizar-esta-metodologia

Atlassian. (2026). *¿Qué es scrum en la metodología ágil?* Recuperado de https://www.atlassian.com/es/agile/scrum

Bardales Espinoza, W. A., Castañón, C., & Herrera Herrera, J. L. (2019). Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala* (pp. 20-39). Guatemala: Editorial Universitaria UVG. Recuperado de https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2019/07/1RepCCGuaCap2.pdf

BBVA API_Market. (2024). *API REST: qué es, para qué sirve y ejemplos*. Madrid, España. Recuperado de https://www.bbvaapimarket.com/es/mundo-api/api-rest-que-es-y-cuales-son-sus-ventajas-en-el-desarrollo-de-proyectos/

Cardona, C., & Mendoza, F. (2023). Sistemas de alerta temprana ante fenómenos climáticos. *Revista de Gestión de Riesgos*, 28(2), 145-163. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-72792023000100145

Carrión Buenaño, D. (2022). Influencia de la Arquitectura de software en plataformas móviles. *Polo del Conocimiento*, 7(12), 2604-2620. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9252099.pdf

Casanova-Vise, C., Cano, C., & Benites, M. (2025). Weather station with a comprehensive program that promotes preventive culture against hail among local farmers (APUY). En Proceedings of the 23rd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. Ciudad de México, México: LACCEI. https://doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1644

CGIAR. (2022). *Agricultura y cambio climático en Guatemala: vulnerabilidades*. Santiago de Chile, Chile: CEPAL. Recuperado de https://www.cepal.org/es/publicaciones/47894-agricultura-cambio-climatico-guatemala

Chen, L., Li, Y., & Zhou, X. (2022). Mensajería en tiempo real y notificaciones push. *Revista de Sistemas Distribuidos*, 26(2), 155-173. Recuperado de https://redalyc.org/journal/262/2621557028/

Coloma Martínez, L. A. (2024). *Diseño de la investigación para la implementación de un sistema de alerta temprana ante amenazas de huracanes, integrado con realidad aumentada y notificaciones automáticas por SMS* [Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Biblioteca de la Facultad de Ingeniería USAC. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0730_EO.pdf

Concepto.de. (2025). *HTTP: concepto, para qué sirve y cómo funciona*. Recuperado de https://concepto.de/http/

CONRED. (2023). *Sistema Nacional de Alerta Temprana de Guatemala (SAT)*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Secretaría Ejecutiva de la CONRED. Recuperado de https://conred.gob.gt/documentos/planes/SAT-Guatemala.pdf

Constante Jáuregui, K. (2021). *Sistema Web para gestión de datos meteorológicos y APIs [Tesis de grado]*. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21304

Díaz, R., & Sánchez, M. (2021). Internet de las Cosas aplicado a la agricultura: sensores y redes. *Revista de Ingeniería Agrícola*, 35(4), 210-227. Recuperado de https://www.redalyc.org/journal/6139/613964509009/html/

Digi. (2024). *Seguridad de datos y privacidad en redes IoT industriales y agrícolas*. Minnesota, EE. UU. Recuperado de https://es.digi.com/blog/post/iot-in-agriculture

EDteam. (2022). *¿Qué es Flutter? La tecnología que cambió el desarrollo multiplataforma*. Recuperado de https://ed.team/blog/que-es-flutter-la-tecnologia-que-cambio-el-desarrollo-multiplataforma

ESIC. (2024). *Qué es Figma y para qué sirve*. Recuperado de https://www.esic.edu/rethink/marketing-y-comunicacion/que-es-figma-c

Esri. (2024). *Ciencia climática: Prever, prepararse y adaptarse mediante SIG*. Madrid, España: Esri España. Recuperado de https://www.esri.com/es-es/industries/earth-sciences/disciplines/climate-science

Esri. (2025). World Light Gray Base. Redlands, EE. UU.: Esri. Recuperado de https://doc.arcgis.com/en/data-appliance/2022/maps/world-light-gray-base.htm

FAO. (2021). *Franja de oportunidades: Corredor Seco en Guatemala*. Ciudad de Panamá, Panamá. Recuperado de https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb5228es

FAO. (2021). *Resiliencia de los hogares en el Corredor Seco de Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: FAO Guatemala. Recuperado de https://www.fao.org/3/ca8641es/CA8641ES.pdf

FIDA. (2021). *Informe de evaluación: Adaptación para pequeños productores*. Roma, Italia. Recuperado de https://webapps.ifad.org/members/ec/124/docs/spanish/EC-2024-124-W-P-5.pdf

Firebase. (2026). *Documentación de Firebase: Firestore, Realtime Database y Cloud Messaging*. Mountain View, EE. UU.: Google. Recuperado de https://firebase.google.com/docs?hl=es-419

Fleaflet. (2026). flutter_map: documentación. Recuperado de https://docs.fleaflet.dev/

Flutter. (2026). *Dart and Flutter DevTools y el repositorio de paquetes pub.dev*. Mountain View, EE. UU.: Google. Recuperado de https://docs.flutter.dev/tools/devtools

Fuentes López, M. R. (2002). *El cultivo del maíz en Guatemala: Una guía para su manejo agronómico*. Guatemala: Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. Recuperado de https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Maiz/cultivoMaizManejoAgronomico.pdf

Futurespace. (2021). *Tipos de aplicaciones móviles y su impacto en el rendimiento*. Madrid, España. Recuperado de https://www.futurespace.es/tipos-de-aplicaciones-moviles/

García, L. (2022). Estaciones meteorológicas automáticas y redes de sensores. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 17(2), 45-60. Recuperado de https://scielo.org/ssa/v17n2

GitHub. (2026). Descripción de Acciones de GitHub. San Francisco, EE. UU.: GitHub. Recuperado de https://docs.github.com/es/actions/about-github-actions/understanding-github-actions

Gómez, J. (2023). *Desarrollo de aplicaciones con frameworks modernos [Tesis de grado]*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala. Recuperado de https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/987

González, S. E. (Comp.). (2021). *Guía técnica del cultivo de frijol en los municipios de Matiguás y San Ramón, departamento de Matagalpa, Nicaragua*. Matagalpa, Nicaragua: Fundación Acción contra el Hambre. Recuperado de https://accioncontraelhambre.org.gt/wp-content/uploads/2024/06/Guia-Tecnica-Cultivo-de-Frijol-2_compressed.pdf

Google. (2025). *Material Design 3: el sistema de diseño de Google*. Recuperado de https://m3.material.io/

Google Cloud. (2024). *¿Qué es la computación en la nube? y descripción general de Google Cloud*. Recuperado de https://cloud.google.com/learn/what-is-cloud-computing?hl=es-419

Google Maps. (2026). *Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, Campus Jutiapa* [Mapa]. Recuperado de https://www.google.com/maps?q=14.282665,-89.897006

Gutiérrez, M. (2021). Toma de decisiones basada en datos agropecuarios. *Revista Agronómica*, 38(2), 145-159. Recuperado de https://redalyc.org/articulo.oa?id=382145

Hernández, L. (2022). Resiliencia agrícola frente a shocks climáticos en Centroamérica. *Revista de Economía Agrícola*, 4(1), 12-28. Recuperado de https://rlea.org/index.php/rlea/article/view/413

Herrera, Y. (2021). Monitorización de sistemas con Big Data. *Ecuadorian Science Journal*, 5(2), 151-165. Recuperado de https://journals.gdeon.org/index.php/esj/article/view/151

Hilario Contreras, L. (2025). *Software Móvil de Pronóstico del Tiempo [Tesis de grado]*. Lima, Perú: Universidad Tecnológica del Perú. Recuperado de http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/11718

IBM. (2024). *Arquitectura de microservicios en la nube: Conceptos principales*. Recuperado de https://www.ibm.com/es-es/topics/microservices

IBM. (2025). *¿Qué es una base de datos relacional?* Recuperado de https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/relational-databases

Imagina Formación. (2025). *¿Qué es Firebase y para qué sirve?* Recuperado de https://imaginaformacion.com/tutoriales/que-es-firebase

Instituto Nacional de Estadística. (2018). *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: INE. Recuperado de https://www.censopoblacion.gt/

IONOS. (2022). *¿Qué es GitHub? Control de versiones para el desarrollo de tu web*. Recuperado de https://www.ionos.com/es-us/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/github/

IONOS. (2025). *JSON: qué es, cómo funciona y cuándo se utiliza*. Recuperado de https://www.ionos.com/es-us/digitalguide/servidores/know-how/que-es-json/

Llamuca, J., Vera, Y., & Tapia, V. (2021). Eficiencia de desempeño: Aplicación web tradicional vs progresiva. *Revista de Ingeniería*, 18(2), 164-180. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992021000200164

Lucidchart. (2024). *Qué es el lenguaje unificado de modelado (UML)*. Recuperado de https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-el-lenguaje-unificado-de-modelado-uml

MAGA. (2023). *Boletín Agroclimático Jalapa: Mesa Técnica*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Ministerio de Agricultura. Recuperado de https://www.maga.gob.gt/download/9.Jalapa2.pdf

MAGA. (2025). *Refuerzan monitoreo agrícola con sistema digital*. Ciudad de Guatemala, Guatemala. Recuperado de https://www.maga.gob.gt/refuerzan-monitoreo-agricola-con-sistema-digital-de-alerta-temprana-ante-sequias/

MARN. (2022). *Planes de adaptación climática del MARN reducen la vulnerabilidad y favorecen a la resiliencia*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de https://www.marn.gob.gt/planes-de-adaptacion-climatica-ministerio-ambiente/

Marroquín Najarro, J. A. (2024). La seguridad alimentaria en las comunidades del corredor seco en el Municipio de Jalapa. *Revista Científica del Sistema de Estudios de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Recuperado de: https://revistasep.usac.edu.gt/index.php/RevistaSEP/article/view/234

Mera, M., Mercado, I., & Sandoval, M. (2023). *Predicción de heladas con algoritmos de Machine Learning en estaciones meteorológicas [Tesis de grado]*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/24581

Microsoft Learn. (2024). *¿Qué es Git?* Recuperado de https://learn.microsoft.com/es-es/devops/develop/git/what-is-git

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. (s.f.). *Sequía meteorológica*. San Salvador, El Salvador: Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales. Recuperado de https://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima/sequia+meteorologica/

MiTSoftware. (2026, 24 de marzo). *Flutter vs React Native 2026: Comparativa estratégica*. Blog de MiTSoftware. Recuperado de https://mitsoftware.com/blog/flutter-vs-react-native-2026-cual-elegir/

MongoDB. (2024). *Escalabilidad de bases de datos: Horizontal vs Vertical*. Nueva York, EE. UU. Recuperado de https://www.mongodb.com/resources/basics/scaling

Monjo, R. (2010). *El índice n de la precipitación intensa*. Valencia, España: Fundación para la Investigación del Clima. Recuperado de https://www.divulgameteo.es/uploads/Indice-n.pdf

Monterroso, D. (2024). Teorías sobre agricultura y desarrollo social en Guatemala. *Análisis de la Realidad Nacional*, 13(260). Recuperado de https://revistasguatemala.usac.edu.gt/IPNUSAC/article/view/2120

Moraga, J. M. (2024). *Guía técnica de producción integral de café*. Nicaragua: Fundación Acción contra el Hambre. Recuperado de https://accioncontraelhambre.org.gt/wp-content/uploads/2024/06/GUIA-TECNICA-CAFE-1_compressed.pdf

Morales Sánchez de Prados, F. (2023). *Sistema de monitorización agrícola basado en IoT [Tesis de grado]*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de https://oa.upm.es/75690/

Mozilla. (2026). *¿Qué es JavaScript?* Aprende desarrollo web (MDN). Recuperado de https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn_web_development/Core/Scripting/What_is_JavaScript

Neoland. (2025). *Postman: la herramienta para desarrolladores web y de apps móviles*. Recuperado de https://neoland.es/postman/

Nutanix. (2026). *Cloud Computing: guía completa de la computación en la nube*. Recuperado de https://www.nutanix.com/es/info/cloud-computing

Olazabal Chávez, F. M. (2022). *Sistematización del proceso de implementación del Sistema de Alerta Temprana (SAT) ante sequías en la provincia de Tarata, region Tacna, 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Nacional Digital ALICIA. Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12969/2691

ONU-SPIDER. (2021). *FOSAT-S: Fortaleciendo sistemas de alerta temprana para sequías*. Viena, Austria: Oficina de las Naciones Unidas para los Asuntos del Espacio Ultraterrestre. Recuperado de https://www.un-spider.org/es/proyectos/FOSAT-S

Oracle. (2025). *¿Qué es Docker?* Recuperado de https://www.oracle.com/es/cloud/cloud-native/container-registry/what-is-docker/

Orozco Granillo, M. D. (2024). Desafío de acceso de conectividad digital en áreas rurales en Guatemala. *ECO revista académica*, (29), 33-49. Recuperado de https://revistas.url.edu.gt/index.php/eco/article/view/160

Piensa Solutions. (2025). *¿Qué es Flutter y por qué utilizarlo para desarrollar tus aplicaciones?* Recuperado de https://www.piensasolutions.com/blog/que-es-flutter-y-por-que-utilizarlo-para-desarrollar-tus-aplicaciones

Quezada, C., Mercado, M., & Sandoval, M. (2021). Validación de datos de estaciones meteorológicas automáticas. *Chilean Journal of Agricultural Sciences*, 37(1), 21-31. Recuperado de https://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v37n1/0719-3890-chjaasc-37-01-21.pdf

Quisaguano Collaguazo, M. L. R., Pallasco Venegas, M. S., Andaluz Guerrero, A. A., Martínez Freire, M. N., & Corrales Beltrán, M. S. H. (2022). Desarrollo hibrido con Flutter. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 4594-4609. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2959

Red Hat. (2024). *Qué es el Internet de las cosas (IoT) y sus aplicaciones*. Recuperado de https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot

Rivera, P. (2024). *Análisis de políticas de privacidad en aplicaciones en Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: TIC-Guate. Recuperado de https://www.tic-guate.edu.gt/investigaciones/politicas-privacidad

Sardanyés, E. (2026, 20 de febrero). *IoT y ciberseguridad en el sector agroalimentario: ¿Aliados o riesgo?* Blog de ESED - Cyber Security & IT Solutions. Recuperado de https://www.esedsl.com/blog/iot-y-ciberseguridad-en-el-sector-agroalimentario

SEAS. (2025). *Linux: cómo usarlo y características*. Zaragoza, España. Recuperado de https://www.seas.es/blog/informatica/linux-como-usarlo-y-caracteristicas/

SEGEPLAN. (2022). *Plan Nacional de Desarrollo: K'atun, nuestra Guatemala 2032*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Recuperado de https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/08/GuatemalaPlanNacionaldeDesarrollo2032.pdf

Seidor. (2023). *¿Qué es Firebase? Ventajas que ofrece a nuestras aplicaciones*. Recuperado de https://www.seidor.com/es-es/blog/firebase-que-es

Seidor. (2024, 15 de marzo). *Diseño e implementación de notificaciones push*. Blog de Innovación Tecnológica. Recuperado de https://www.seidor.com/es-es/blog/diseno-interaccion-implementacion-notificaciones-push

SUN Movement. (2022). *Informe de acción: Sistema de alerta temprana en seguridad alimentaria y nutricional en Guatemala*. Ginebra, Suiza: Scaling Up Nutrition Movement. Recuperado de https://scalingupnutrition.org/sites/default/files/2023-03/Guatemala%20-%20good%20practice%20(ES)_0.pdf

Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Klein Tank, A., Peterson, T. C., Trewin, B., & Zwiers, F. W. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Climate Change, 2*(6), 851-870. https://doi.org/10.1002/wcc.147

Glosario

El glosario reúne los términos técnicos, agrícolas y meteorológicos que se usan en el documento, con el significado con el que se emplean en esta investigación. La Tabla 96 los presenta en orden alfabético; las siglas se escriben con su nombre completo en español, y los servicios y herramientas se describen según su función dentro del sistema.

Tabla 96. *Definiciones de los términos utilizados en el estudio.*

No.	Término	Definición
1	Agrometeorología	Ciencia que estudia la relación entre el tiempo atmosférico, el clima y la producción agrícola, para apoyar decisiones sobre la siembra, el manejo y la cosecha.
2	Alerta temprana	Aviso que se emite antes de que ocurra un evento peligroso, con el tiempo suficiente para que las personas tomen medidas de protección.
3	Android	Sistema operativo para teléfonos inteligentes desarrollado por Google, sobre el que funciona la aplicación AgroClima Jalapa.
4	API	Interfaz de programación de aplicaciones. Conjunto de reglas y direcciones que un servicio ofrece para que otros programas le soliciten datos, como el pronóstico del clima.
5	APK	Paquete de aplicación de Android. Archivo que contiene la aplicación y que se instala directamente en el teléfono.
6	Autenticación	Proceso que comprueba la identidad del usuario, por ejemplo con su correo y su contraseña, antes de permitirle el acceso.
7	Base de datos documental	Base de datos que guarda la información en documentos con campos y valores, agrupados en colecciones, en lugar de tablas con filas y columnas.

No.	Término	Definición
8	Caché	Copia local de datos que se guarda en el teléfono para mostrarlos con rapidez o cuando no hay conexión.
9	Canícula	Período de varios días con poca o ninguna lluvia que se presenta a mitad de la temporada lluviosa en Guatemala, por lo general entre julio y agosto.
10	Celda climática	Cuadro de 0.05 grados de latitud y de longitud que agrupa las parcelas cercanas para consultar su clima una sola vez.
11	Ciclo automático	Proceso que se ejecuta cada tres horas en la nube para consultar el clima, compararlo con los umbrales de cada cultivo y enviar los avisos.
12	Cloud Firestore	Base de datos documental en la nube de Firebase donde se guardan los usuarios, las parcelas, los pronósticos y las alertas del sistema.
13	Criterios de aceptación	Condiciones que debe cumplir una historia de usuario para considerarse terminada.
14	Cuota	Límite de uso que un servicio gratuito permite en un período determinado, como el número de consultas por minuto o por mes.
15	Emulador	Programa que simula un teléfono Android en la computadora y permite probar la aplicación sin un equipo físico.
16	Etapa fenológica	Fase del desarrollo de una planta, como la siembra, el crecimiento, la floración o el llenado del grano, en la que su tolerancia al clima cambia.
17	Firebase	Plataforma de Google que ofrece servicios en la nube para aplicaciones móviles, como la autenticación, la base de datos y el envío de notificaciones.
18	Flutter	Herramienta de desarrollo de Google para crear aplicaciones móviles con el lenguaje Dart a partir de un mismo código.

No.	Término	Definición
19	GitHub Actions	Servicio de GitHub que ejecuta tareas automáticas, programadas o manuales, definidas en archivos de configuración del repositorio.
20	Helada	Descenso de la temperatura del aire a 0 °C o menos, que puede congelar los tejidos de las plantas y dañar el cultivo.
21	Historia de usuario	Descripción breve de una función del sistema, escrita desde el punto de vista de la persona que la usará.
22	HTTPS	Protocolo seguro de transferencia de hipertexto. Forma cifrada de comunicación entre la aplicación y los servicios en internet.
23	Humedad relativa	Cantidad de vapor de agua en el aire comparada con la máxima que puede contener a esa temperatura, expresada en porcentaje.
24	Manzana	Unidad de medida de superficie usada en Guatemala, equivalente a unas 0.7 hectáreas.
25	Microclima	Condiciones climáticas propias de un área pequeña, que pueden diferir de las de su alrededor por la altitud, el relieve o la vegetación.
26	Notificación	Mensaje que la aplicación muestra en el teléfono aunque esté cerrada, para avisar al productor de un riesgo climático.
27	OpenWeather	Servicio en internet que proporciona datos del clima actual, pronósticos y mapas meteorológicos por medio de una API.
28	Pila del producto	Lista ordenada de las funciones y los requerimientos que debe tener el producto, que se usa en Scrum para planificar el trabajo.
29	Plan Spark	Plan gratuito de Firebase, con límites de uso, en el que opera el sistema.

No.	Término	Definición
30	Precipitación	Agua que cae de la atmósfera en forma de lluvia, llovizna o granizo; se mide en milímetros.
31	Pronóstico	Estimación de las condiciones del tiempo para las próximas horas o días.
32	Repositorio	Lugar donde se guarda el código fuente de un proyecto junto con el historial de sus cambios; en este proyecto se encuentra en GitHub.
33	Resiliencia	Capacidad de un productor o de un sistema agrícola para resistir un evento adverso y recuperarse de él.
34	Scrum	Marco de trabajo ágil que organiza el desarrollo de un producto en ciclos cortos de trabajo llamados sprints.
35	Semáforo de alertas	Escala de colores verde, amarillo y rojo que indica el nivel de riesgo de un aviso: normal, precaución y peligro.
36	Sequía	Período prolongado con lluvia por debajo de lo normal que reduce el agua disponible para los cultivos.
37	Sprint	Ciclo de trabajo de duración fija, de dos semanas en este proyecto, al final del cual se entrega una parte funcional del producto.
38	Tesela	Imagen cuadrada pequeña que forma parte de un mapa digital; el mapa se arma al unir muchas teselas.
39	Umbral	Valor de una variable del clima a partir del cual se considera que existe riesgo para un cultivo y se genera una alerta.
40	Variabilidad climática	Variación del clima respecto a su comportamiento promedio, como años más lluviosos o más secos de lo normal.

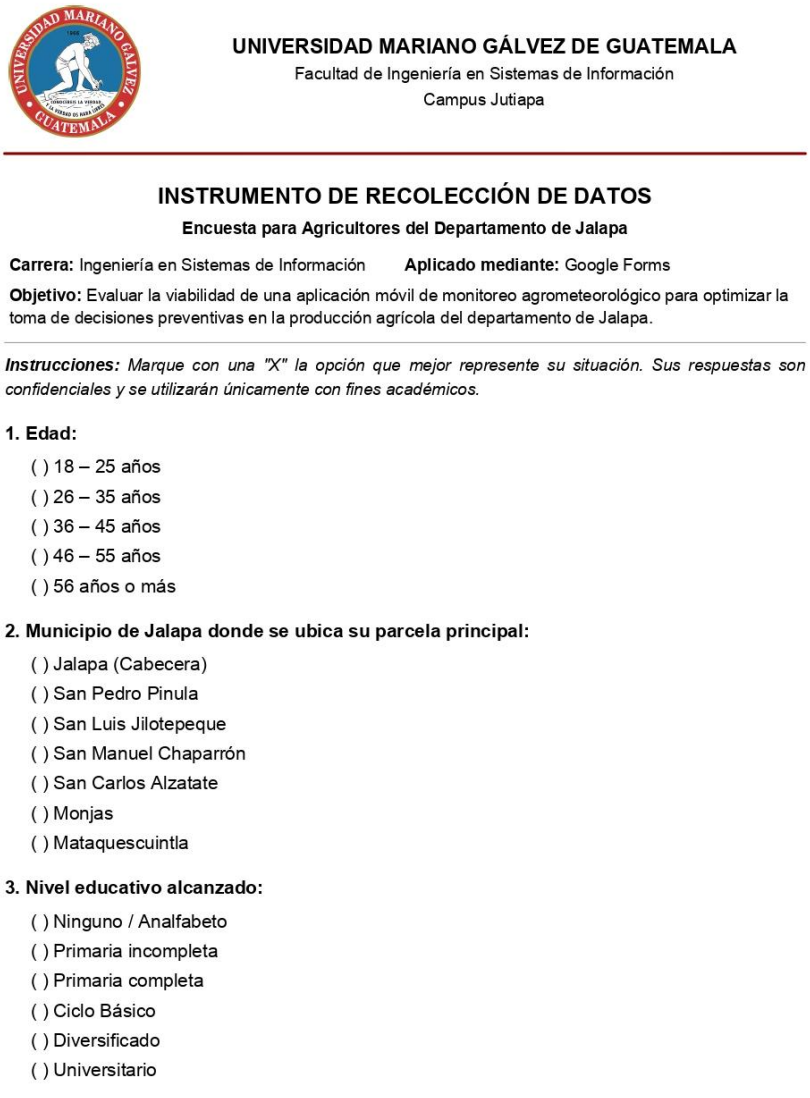
Fuente: Elaboración propia.

Anexos

Anexo 1. Formato del cuestionario

El instrumento corresponde al cuestionario aplicado mediante Google Forms a 122 productores agrícolas de los siete municipios de Jalapa. Sus preguntas recogen el perfil del productor, su acceso a la tecnología, los fenómenos climáticos que lo afectan y su disposición a usar la aplicación y a recibir alertas.

Figura 71. Instrumento de recolección de datos, parte 1 de 3.



UNIVERSIDAD MARIANO GÁLVEZ DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería en Sistemas de Información
Campus Jutiapa

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Encuesta para Agricultores del Departamento de Jalapa

Carrera: Ingeniería en Sistemas de Información **Aplicado mediante:** Google Forms

Objetivo: Evaluar la viabilidad de una aplicación móvil de monitoreo agrometeorológico para optimizar la toma de decisiones preventivas en la producción agrícola del departamento de Jalapa.

Instrucciones: *Marque con una "X" la opción que mejor represente su situación. Sus respuestas son confidenciales y se utilizarán únicamente con fines académicos.*

1. Edad:

( ) 18 – 25 años
( ) 26 – 35 años
( ) 36 – 45 años
( ) 46 – 55 años
( ) 56 años o más

2. Municipio de Jalapa donde se ubica su parcela principal:

( ) Jalapa (Cabecera)
( ) San Pedro Pinula
( ) San Luis Jilotepeque
( ) San Manuel Chaparrón
( ) San Carlos Alzatate
( ) Monjas
( ) Mataquescuintla

3. Nivel educativo alcanzado:

( ) Ninguno / Analfabeto
( ) Primaria incompleta
( ) Primaria completa
( ) Ciclo Básico
( ) Diversificado
( ) Universitario

4. Tipo de producción agrícola que maneja principalmente:

( ) Granos Básicos (Maíz / Frijol)
( ) Horticultura (Tomate, Cebolla, Papa, etc.)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 72. *Instrumento de recolección de datos, parte 2 de 3.*

( ) Caficultura
( ) Frutales

5. Régimen de la tenencia de su tierra:

( ) Propia
( ) Arrendada / Alquilada
( ) Comunitaria / Familiar

6. ¿Posee usted un teléfono inteligente (smartphone) de pantalla táctil propio?

( ) Sí
( ) No

7. ¿Cómo califica la señal de internet móvil (datos) cuando trabaja dentro de su parcela?

( ) Buena (Conexión rápida y constante)
( ) Regular (Intermitente o lenta)
( ) Mala (No hay señal la mayor parte del tiempo)

8. ¿Qué fenómeno climático ha dañado más su producción en los últimos 3 años?

( ) Sequías / Canícula prolongada
( ) Heladas / Descensos fuertes de temperatura
( ) Lluvias torrenciales / Inundaciones
( ) Ninguno

9. ¿A través de qué medio se entera usted actualmente del pronóstico del tiempo?

( ) Televisión nacional o radio
( ) Redes sociales (Facebook, WhatsApp)
( ) Observación propia (nubes, viento, cabañuelas)
( ) No consulta el pronóstico

10. ¿Estaría dispuesto a instalar y usar una aplicación móvil gratuita que le brinde alertas climáticas para su parcela?

( ) Sí, la usaría con frecuencia
( ) Tal vez, dependiendo de qué tan fácil sea de usar
( ) No, prefiero los métodos actuales

11. Si una aplicación le enviara una alerta de helada con 24 horas de anticipación, ¿tomaría medidas preventivas (riego de defensa, coberturas) a tiempo?

( ) Sí, actuaría de inmediato
( ) Tal vez, dependiendo de la situación
( ) No, esperaría a ver cómo evoluciona el tiempo

12. ¿Considera que un mapa digital que muestre las condiciones climáticas específicas de su parcela mejoraría su planificación de siembra y fertilización?

( ) Sí, mejoraría mucho mi planificación

Fuente: Elaboración propia.

Figura 73. *Instrumento de recolección de datos, parte 3 de 3.*

( ) Mejoraría poco

( ) No cambiaría nada

13. ¿Cree que recibir alertas automáticas de lluvia torrencial o sequía le ayudaría a proteger sus cultivos con anticipación?

( ) Sí, reduciría significativamente mis pérdidas

( ) Reduciría poco las pérdidas

( ) No tendría ningún impacto

14. Si una aplicación le mostrara el pronóstico climático específico para su parcela, ¿ajustaría sus actividades agrícolas según esa información?

( ) Sí, cambiaría mis actividades según el pronóstico

( ) Solo si el riesgo fuera muy alto

( ) No, mantendría mi calendario habitual

15. ¿Considera que el uso de alertas climáticas automatizadas podría reducir sus costos de reinversión causados por pérdidas agrícolas?

( ) Sí

( ) No

( ) No estoy seguro

16. ¿Estaría dispuesto a aprender a usar esta aplicación si un técnico agrícola le brindara una capacitación?

( ) Sí, con gusto participaría

( ) Solo si la capacitación fuera breve y sencilla

( ) No me interesa

17. ¿Cómo califica la importancia de contar con información meteorológica personalizada para tomar mejores decisiones en su parcela?

( ) Muy importante

( ) Poco importante

( ) No es importante

18. ¿Cómo califica la utilidad potencial de una aplicación móvil de monitoreo climático para fortalecer la economía de su familia frente al cambio climático?

( ) Excelente

( ) Buena

( ) Regular

( ) Mala

¡Muchas gracias por su tiempo y colaboración!

Su participación es fundamental para el desarrollo de este proyecto de graduación y contribuye al fortalecimiento de la actividad agrícola del departamento de Jalapa.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Evidencias de los objetivos

Este anexo reúne las evidencias del cumplimiento de los objetivos: quiénes participaron en la validación, los resultados de la encuesta de opinión que se responde dentro de la aplicación, fotografías del uso y avisos recibidos. La evidencia de la hipótesis se presenta en el Anexo 3. Todos los participantes dieron permiso para usar su nombre, sus respuestas y una foto.

La encuesta la respondieron 13 personas con la versión 1.1.0 de la aplicación. Se agruparon según su relación con la parcela que registraron, porque de ello depende qué preguntas sirven como evidencia de cada aspecto. La Tabla 97 presenta los tres grupos.

Tabla 97. *Participantes de la validación.*

Grupo	Participantes	Relación con la parcela
Productores agrícolas	Denis Orellana, Edwin Barrera, Ludin López, Elder Melgar y Marcos Pinto	Trabajan la parcela que registraron. Los tres primeros son los usuarios clave del apartado 6.2.2.
Estudiantes de agronomía	Angel Palma y Yuliana Jacinto	Tienen a su cargo un terreno de pruebas y cultivos de la universidad.
Personas cercanas al trabajo agrícola	Clarissa Cardona, Robin Monterroso, Ender López, Jimmy Quintana, Andrea Pérez y Enilson Barrera	Registraron la parcela de un familiar, un huerto o su domicilio para probar la aplicación.

Fuente: Elaboración propia.

Las respuestas de los dos primeros grupos, siete personas que deciden sobre cultivos reales, son las que se toman como evidencia de la utilidad de la aplicación para planificar y para actuar ante un aviso. Las del tercer grupo sirven para valorar la facilidad de uso y la comprensión de los avisos, porque en esas parcelas las decisiones las toma otra persona.

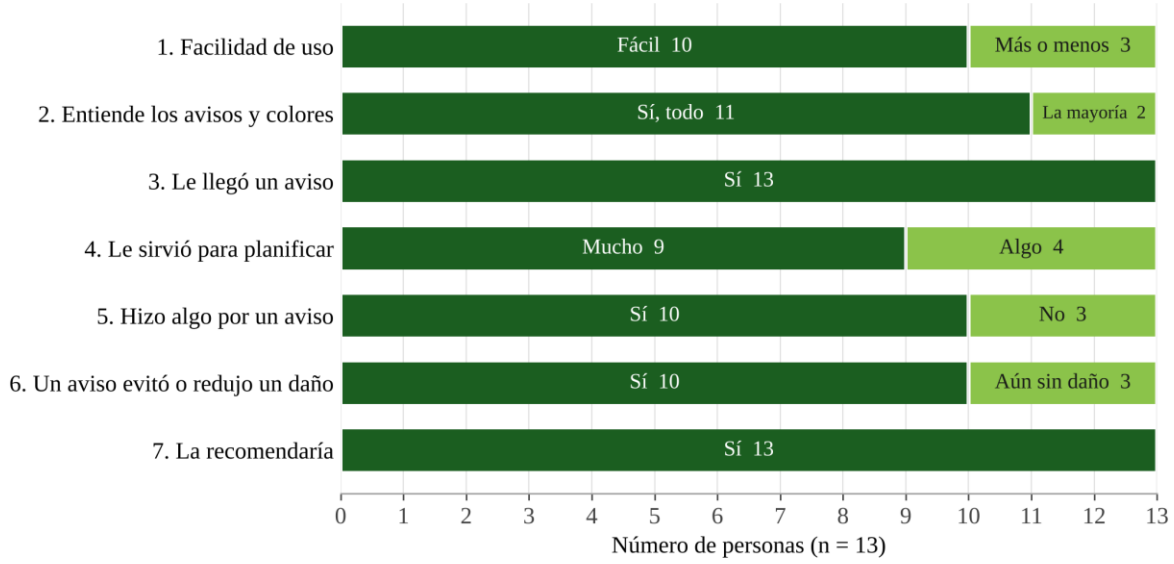
La Tabla 98 presenta las respuestas a las siete preguntas de opción de la encuesta, separadas por grupo, y la Figura 74 las resume para las trece personas. La octava pregunta es abierta y se comenta más adelante.

Tabla 98. *Resultados de la encuesta de opinión.*

Pregunta	Respuesta	Grupos 1 y 2 (n = 7)	Grupo 3 (n = 6)	Total (n = 13)
1. ¿Qué tan fácil le ha sido usar la app?	Fácil	5	5	10
	Más o menos	2	1	3
	Difícil	0	0	0
2. ¿Entiende los avisos y los colores?	Sí, todo	7	4	11
	La mayoría	0	2	2
	Poco	0	0	0
3. ¿Le ha llegado algún aviso a su teléfono?	Sí	7	6	13
	No	0	0	0
4. ¿Le ha servido para planificar el trabajo de su parcela?	Mucho	6	3	9
	Algo	1	3	4
	Poco	0	0	0
5. ¿Ha hecho algo en su parcela por un aviso o el pronóstico?	Sí	7	3	10
	No	0	3	3
6. ¿Algún aviso le ayudó a evitar o reducir un daño?	Sí	5	5	10
	Todavía no ha habido daño	2	1	3
	No	0	0	0
7. ¿La recomendaría a otros productores?	Sí	7	6	13
	Tal vez	0	0	0
	No	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 74. *Respuestas a la encuesta de opinión.*



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al uso, diez de las trece personas encontraron fácil la aplicación y tres más o menos; ninguna la consideró difícil. Once entienden todos los avisos y sus colores y dos la mayoría, a todas les llegó al menos un aviso al teléfono y las trece la recomendarían a otros productores.

En la octava pregunta, sobre qué le cambiarían o agregarían, dos personas sugirieron usar letras un poco más grandes y mejorar la vista del mapa, y las demás no propusieron cambios. Ambas sugerencias quedan como mejoras para una versión siguiente.

La Figura 75 muestra a los productores con la aplicación: a) Denis Orellana en su invernadero, b) Edwin Barrera en su cafetal, c) Ludin López en su parcela de maíz, d) Elder Melgar en su parcela y e) Marcos Pinto. La Figura 76 muestra a los demás participantes: a) Angel Palma, b) Yuliana Jacinto en un cultivo de maíz, c) Clarissa Cardona, d) Robin Monterroso, e) Ender López, f) Andrea Pérez y g) Enilson Barrera. De Jimmy Quintana no se cuenta con fotografía.

Figura 75. *Productores que usaron la aplicación.*



Fuente: Elaboración propia.

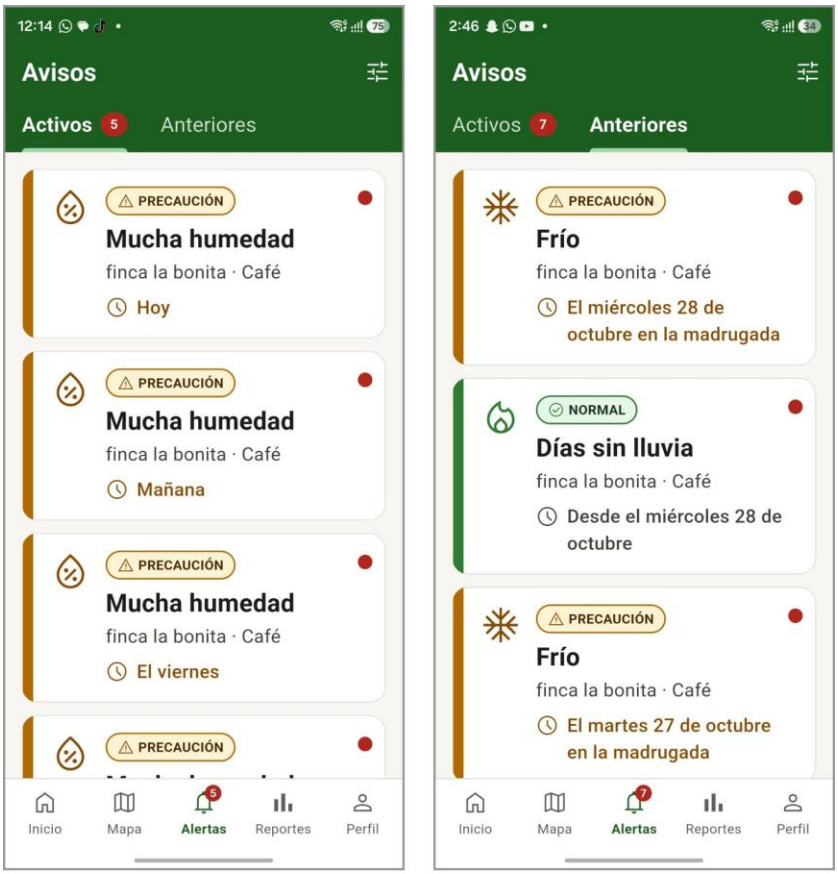
Figura 76. *Estudiantes de agronomía y personas cercanas al trabajo agrícola que usaron la aplicación.*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 77 muestra avisos reales que recibió Denis Orellana para su parcela de café en Jalapa: a) los de mucha humedad activos el 21 de octubre y b) los de frío de las madrugadas del 27 y del 28 de octubre, ya en la pestaña de avisos anteriores. Salieron de pronósticos reales que evaluó el ciclo automático y no de las alertas de prueba.

Figura 77. *Avisos recibidos para una parcela de café en Jalapa.*



Fuente: Elaboración propia.

Por último, la Tabla 99 relaciona el objetivo general, los objetivos específicos y los objetivos del producto con la evidencia que los respalda y con el lugar del documento donde se encuentra.

Tabla 99. *Evidencias por objetivo.*

Objetivo	Evidencia	Ubicación
Objetivo general	La aplicación funciona en su versión 1.1.0 y la usan productores, estudiantes de agronomía y otras personas del departamento; diez de trece hicieron algo en su parcela por un aviso.	Capítulo VI y Tablas 97 y 98
Objetivo específico 1: arquitectura e integración con servicios meteorológicos	Arquitectura cliente-servidor con OpenWeather y Firebase, y ciclo automático que consulta el pronóstico cada tres horas.	Figuras 26 a 28 y 51

Objetivo	Evidencia	Ubicación
Objetivo específico 2: notificaciones por umbrales	Catálogo de umbrales por cultivo y etapa, casos CP-08 y CP-09 aprobados y avisos reales recibidos en una parcela de café.	Tablas 31, 87 y 88 y Figura 77
Objetivo específico 3: validación con agricultores	Dieciséis casos de prueba aprobados y encuesta de opinión con trece personas, siete de ellas a cargo de cultivos.	Apartados 6.3 y 6.4 y Tabla 98
Objetivo del producto 1: centralizar la información meteorológica	Panel, pronóstico hora por hora y de cinco días y mapa por capas en una sola aplicación; diez de trece personas la encontraron fácil de usar.	Casos CP-06 y CP-07 y Tabla 98
Objetivo del producto 2: automatizar la generación de alertas	Ciclo automático en GitHub Actions que evalúa los umbrales y envía la notificación sin que el productor abra la aplicación; a las trece personas les llegó al menos un aviso.	Figura 51, caso CP-08 y Tabla 98
Objetivo del producto 3: vincular el clima a la ubicación de cada parcela	Registro de parcelas con coordenadas validadas dentro del departamento, con parcelas en Jalapa, San Pedro Pinula y Monjas.	Casos CP-04 y CP-05
Objetivo del producto 4: conservar el historial de condiciones y alertas	Registro día por día, historial de avisos e informes en pantalla, en PDF, Excel o CSV, o impresos.	Casos CP-10 a CP-16

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3. Evidencia de la hipótesis

La hipótesis plantea que la implementación de la aplicación optimiza la toma de decisiones preventivas y reduce los impactos negativos en la producción agrícola de Jalapa. Para evaluarla se usan las respuestas de las siete personas que deciden sobre cultivos reales, presentadas en la Tabla 98, junto con lo que describieron en las preguntas abiertas.

Entre esas siete personas, a seis la aplicación les sirvió mucho para planificar y a una algo. Las siete hicieron algo en su parcela por un aviso o por el pronóstico, y cinco indicaron que un aviso les ayudó a evitar o reducir un daño; las otras dos todavía no han tenido un evento que lo ponga a prueba.

Las respuestas abiertas describen decisiones concretas. Edwin Barrera no fumigó el día de un aviso de viento fuerte y así no desperdició el producto; Elder Melgar se preparó para regar ante un aviso de días sin lluvia; y Ludin López metió el tractor antes de la lluvia y logró sembrar a tiempo. En el tercer grupo, el abuelo de Robin Monterroso esperó a que pasara la lluvia para

abonar, y el agua no lavó el abono. La Tabla 100 relaciona cada parte de la hipótesis y cada pregunta de investigación con la evidencia que la respalda y con el lugar del documento donde se encuentra.

Tabla 100. *Evidencias de la hipótesis y de las preguntas de investigación.*

Elemento	Evidencia	Ubicación
Hipótesis, primera parte: optimiza la toma de decisiones preventivas	Las siete personas que deciden sobre cultivos actuaron por un aviso o por el pronóstico y a seis les sirvió mucho para planificar.	Tabla 98 y respuestas abiertas
Hipótesis, segunda parte: reduce los impactos negativos	Cinco de esas siete personas indicaron que un aviso les evitó o redujo un daño. Es evidencia preliminar, porque medir las pérdidas evitadas requiere un ciclo de cultivo completo.	Tabla 98 y conclusión c)
Pregunta 1: datos en tiempo real y decisiones preventivas	La misma evidencia de la primera parte de la hipótesis.	Tabla 98
Pregunta 2: requerimientos para entregar las notificaciones	Requerimientos de los apartados 4.3 y 4.5, arquitectura del 5.1 y caso de prueba de las notificaciones.	Capítulos IV y V y Tabla 87
Pregunta 3: interfaz intuitiva y capacidad de respuesta	Diez de trece personas encontraron fácil la aplicación, once entienden todos los avisos y diez actuaron por un aviso.	Tabla 98 y Figura 74

Fuente: Elaboración propia.

Con esa evidencia, las tres preguntas de investigación del apartado 1.4 se responden de la manera siguiente. Cada respuesta se apoya en los resultados de la encuesta de la Tabla 98 y en las pruebas de funcionamiento del Capítulo VI.

a) La integración de datos meteorológicos en tiempo real optimiza las decisiones preventivas porque el productor recibe el pronóstico de su parcela y un aviso antes del evento, con la medida que conviene tomar. Con esa información, las siete personas que deciden sobre cultivos actuaron en su parcela: no fumigaron ante viento fuerte, regaron antes de varios días sin lluvia o adelantaron la siembra antes de la lluvia.

b) Para entregar las notificaciones a tiempo en una región con microclimas diversos se requiere registrar cada parcela con coordenadas validadas, consultar el pronóstico por celdas de 0.05 grados, evaluar umbrales por cultivo y etapa en un ciclo automático en la nube cada tres

horas y enviar la notificación por Firebase Cloud Messaging aun con la aplicación cerrada, con una copia en el centro de alertas.

c) La interfaz intuitiva y localizada favorece la capacidad de respuesta: diez de trece participantes encontraron fácil la aplicación, once entienden todos los avisos y sus colores, y las siete personas que deciden sobre cultivos actuaron por un aviso. El grado en que esa respuesta reduce las pérdidas solo se podrá medir después de un ciclo de cultivo completo.

Con base en estas evidencias, la hipótesis se acepta parcialmente. La primera parte se comprueba: la aplicación optimizó la toma de decisiones preventivas de las siete personas que deciden sobre cultivos. La segunda parte se acepta de forma preliminar, porque la reducción de los impactos negativos se apoya en lo que reportaron los participantes y no en una medición de las pérdidas.

Medir esa reducción requiere al menos un ciclo de cultivo completo. Un ciclo va de la siembra a la cosecha y dura varios meses, mientras que la validación abarcó pocas semanas; en ese tiempo no es posible comparar el rendimiento de una cosecha atendida con los avisos contra el de una cosecha sin ellos, ni sumar las pérdidas evitadas a lo largo de la temporada.

Anexo 4. Manuales del sistema

Los manuales del sistema se publicaron como documentos independientes en la página del proyecto, para que el productor y el personal técnico puedan consultarlos o descargarlos en cualquier momento. El manual de instalación explica la descarga del APK, los permisos y el primer uso de la aplicación.

El manual de usuario describe cada función de la aplicación con sus pantallas, y el manual técnico documenta la arquitectura, el modelo de datos, el ciclo automático, la seguridad, la configuración y el mantenimiento del sistema. La Tabla 101 presenta la dirección de consulta de cada uno.

Tabla 101. *Manuales del sistema.*

Manual	Dirección de consulta
Manual de instalación	https://stevenquintanagt.github.io/Pag_Agroclima/manuales/manual-de-instalacion.pdf

Manual	Dirección de consulta
Manual de usuario	https://stevenquintanagt.github.io/Pag_Agroclima/manuales/manual-de-usuario.pdf
Manual técnico	https://stevenquintanagt.github.io/Pag_Agroclima/manuales/manual-tecnico.pdf

Fuente: Elaboración propia.