



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Bioinformática

**IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO INTELIGENTE PARA LA
MONITORIZACIÓN DE INVERNADEROS DE TOMATES EN LA
REGIÓN DEL MAULE**

Aldo Marcelino Acevedo Toledo

Profesor Tutor: Jorge Eduardo Bustos Bustos.

Profesor Co-tutor: Manuel Alejandro Moscoso Domínguez.

Profesor Informante: Felipe Andrés Besoain Pino.

Memoria para optar al Título de Ingeniero en Bioinformática

Talca – Chile

14 de Julio, 2015



CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a mi familia por su gran esfuerzo, constancia y apoyo incondicional. Me enseñaron que una buena persona no es aquella que entrega amor mediante besos, abrazos o palabras, sino que lo más importante son las acciones y el sacrificio que hay detrás de cada cosa que hacemos.

Especial reconocimiento merecen el Profesor Jorge Bustos y Manuel Moscoso quienes formaron parte fundamental de este proyecto. Gracias por la ayuda, la paciencia y todos los conocimientos entregados. Ellos me demostraron que en el mundo del software, modelar es el arte y programar es solo pintar.

También quiero extender mi gratitud a Felipe Besoaín, por todas las oportunidades y la confianza depositada en cada proyecto. “Un ingeniero puede hacer cualquier cosa”, jamás lo olvidaré.

No puedo dejar de mencionar a mi gran amigo Gonzalo Muñoz, gracias por la paciencia, el apoyo y amistad.

Finalmente doy las gracias a todos quienes contribuyeron y me brindaron su apoyo durante esta etapa de mi vida.

“Cada cosa que hacemos, es una definición... una parte de nosotros mismos”.



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Bioinformática

**IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO INTELIGENTE PARA LA
MONITORIZACIÓN DE INVERNADEROS DE TOMATES EN LA
REGIÓN DEL MAULE**

Aldo Marcelino Acevedo Toledo

Nota de aprobación: 7,0.

Jorge Eduardo Bustos Bustos:

Profesor Tutor.

Manuel Alejandro Moscoso Domínguez:

Profesor Co-tutor.

Felipe Andrés Besoaín Pino:

Profesor Informante.

Talca – Chile

14 de Julio, 2015

**AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN
DE MEMORIAS DE PREGRADO Y TESIS DE POSTGRADO**

Yo, **Aldo Marcelino Acevedo Toledo**, cédula de Identidad N° **17.824.251-2**, autor de la memoria o tesis que se señala a continuación, autorizo a la Universidad de Talca para publicar en forma total o parcial, tanto en formato papel y/o electrónico, copias de mi trabajo.

Esta autorización se otorga en el marco de la Ley N° 20.435 que modifica la Ley N° 17.336 sobre Propiedad Intelectual, con carácter gratuito y no exclusivo para la Universidad.

Título de la memoria o tesis:	IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO INTELIGENTE PARA LA MONITORIZACIÓN DE INVERNADEROS DE TOMATES EN LA REGIÓN DEL MAULE.
Unidad Académica:	Facultad de Ingeniería.
Carrera o Programa:	Escuela de Ingeniería en Bioinformática.
Título y/o grado al que se opta:	Ingeniero en Bioinformática.
Nota de calificación	7,0.

Firma del Alumno:

Rut: 17.824.251 - 2

Fecha: 14 / 06 / 2015

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. TOMATES DE INVERNADERO.....	18
1.1.1. <i>Ventajas del cultivo en invernadero</i>	18
1.1.2. <i>Ciclo de cultivo del tomate de invernadero</i>	20
1.1.3. <i>Condiciones climáticas</i>	22
1.1.3.1. <i>Condiciones climáticas favorables</i>	22
1.1.3.2. <i>Condiciones climáticas desfavorables</i>	22
1.1.4. <i>Enfermedades comunes en la producción de tomates en invernadero</i>	24
1.2. PROBLEMA.....	25
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	27
1.4. SOLUCIONES ACTUALES.....	28
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	29
2. MARCO TEÓRICO.....	31
2.1. SENSORES.....	31
2.2. AGRICULTURA INTELIGENTE.....	32
2.3. SOFTWARE LIBRE.....	33
2.3.1. <i>Licencia GNU GPLv3</i>	34
2.4. HARDWARE LIBRE.....	34
2.4.1. <i>Arduino</i>	35
2.4.1.1. <i>Estructura de programación</i>	35
2.4.1.2. <i>Objetos, datos e interacciones</i>	36
2.4.1.3. <i>Aplicación en agricultura</i>	36
2.5. SERVICIO DE MENSAJERÍA CORTO (SMS).....	37
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	38
3.1. HIPÓTESIS.....	38
3.2. OBJETIVO GENERAL.....	38
3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	38

4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
4.1. MODELO DE PROTOTIPOS (HARDWARE).....	39
4.1.1. <i>Planeación previa y análisis</i>	40
4.1.2. <i>Diseño rápido</i>	41
4.1.3. <i>Construcción del prototipo</i>	42
4.1.4. <i>Evaluación</i>	42
4.1.5. <i>Refinamientos</i>	42
4.2. MODELO DE DESARROLLO ITERATIVO (SOFTWARE).....	43
4.2.1. <i>Análisis y requerimientos</i>	44
4.2.2. <i>Diseño</i>	44
4.2.3. <i>Implementación</i>	45
4.2.4. <i>Pruebas</i>	45
5. DESARROLLO DE PROTOTIPOS.....	46
5.1. PROTOTIPO 1.....	46
5.1.1. <i>Planeación previa y análisis</i>	47
5.1.2. <i>Diseño rápido</i>	48
5.1.2.1. <i>Módulo de sensores</i>	48
5.1.2.2. <i>Módulo de almacenamiento</i>	49
5.1.2.3. <i>Módulo de alertas</i>	50
5.1.2.4. <i>Núcleo central</i>	51
5.1.3. <i>Construcción del prototipo</i>	52
5.1.3.1. <i>Circuito de sensores</i>	53
5.1.3.2. <i>Circuito de almacenamiento</i>	53
5.1.3.3. <i>Circuito de alertas</i>	54
5.1.3.4. <i>Contenedor</i>	54
5.1.4. <i>Evaluación</i>	55
5.1.5. <i>Refinamientos</i>	56
5.2. PROTOTIPO 2.....	56
5.2.1. <i>Planeación previa</i>	57
5.2.2. <i>Diseño rápido</i>	58
5.2.2.1. <i>Módulo de sensores</i>	58
5.2.2.2. <i>Módulo de almacenamiento</i>	59
5.2.2.3. <i>Módulo de Alertas</i>	60
5.2.2.4. <i>Módulo de información</i>	60
5.2.2.5. <i>Núcleo central</i>	61
5.2.3. <i>Construcción del prototipo</i>	62
5.2.3.1. <i>Circuito de sensores</i>	63
5.2.3.2. <i>Circuito de almacenamiento</i>	64

5.2.3.3.	Circuito de alertas	64
5.2.3.4.	Circuito de información	65
5.2.3.5.	Contenedor	65
5.2.4.	<i>Evaluación</i>	66
5.2.5.	<i>Refinamientos</i>	69
5.3.	PROTOTIPO 3	70
5.3.1.	<i>Planeación previa</i>	71
5.3.2.	<i>Diseño rápido</i>	72
5.3.2.1.	Módulo de sensores	72
5.3.2.2.	Módulo de almacenamiento	74
5.3.2.3.	Módulo de alertas	74
5.3.2.4.	Módulo de configuración	76
5.3.2.5.	Núcleo central	77
5.3.3.	<i>Construcción del prototipo</i>	79
5.3.3.1.	Circuito de sensores	79
5.3.3.2.	Circuito de almacenamiento	81
5.3.3.3.	Circuito de alertas	81
5.3.3.4.	Circuito de configuración	82
5.3.3.5.	Contenedor	82
5.3.4.	<i>Evaluación</i>	83
5.3.5.	<i>Refinamientos</i>	87
6.	DESARROLLO DE SOFTWARE	88
6.1.	ANÁLISIS Y REQUISITOS	88
6.1.1.	<i>Especificación de requerimientos</i>	88
6.1.1.1.	Funciones del sistema	88
6.1.1.2.	Atributos del sistema	94
6.1.1.3.	Atributos por función	95
6.1.2.	<i>Actores</i>	113
6.1.3.	<i>Casos de uso</i>	114
6.1.3.1.	Casos de uso esenciales	115
6.1.3.2.	Diagrama de casos de uso	131
6.1.3.3.	Modelo conceptual	132
6.1.3.4.	Diagramas de secuencia	132
6.1.3.5.	Contratos	140
6.1.4.	<i>Priorización</i>	153
6.1.5.	<i>Modelo de dominio</i>	155
6.1.5.1.	Entidades reconocidas	155
6.1.5.2.	Modelo de dominio	157
6.1.5.3.	Matriz de rastreabilidad	158

6.2.	DISEÑO	160
6.2.1.	<i>Diagramas de interacción</i>	160
6.2.1.1.	Iniciar Medición	161
6.2.1.2.	Medir temperatura interna	162
6.2.1.3.	Medir humedad interna	162
6.2.1.4.	Medir temperatura externa	163
6.2.1.5.	Medir humedad externa	163
6.2.1.6.	Almacenar datos	164
6.2.1.7.	Enviar alertas	164
6.2.2.	<i>Diagramas de clases</i>	165
6.2.3.	<i>Diagrama de paquetes</i>	166
6.2.3.1.	Descripción de paquetes	166
6.2.4.	<i>Diagrama de arquitectura de software</i>	167
6.2.5.	<i>Diagrama de estado</i>	169
6.3.	IMPLEMENTACIÓN	170
6.3.1.	<i>Desarrollo del modelo en Arduino</i>	170
6.3.2.	<i>Implementación iterativa</i>	171
6.3.2.1.	Prototipo 1	172
6.3.2.2.	Prototipo 2	175
6.3.2.3.	Prototipo 3:	180
7.	PRUEBAS Y TESTING	186
7.1.	ADECUACIÓN DE SENSORES	186
7.1.1.	<i>Climatización</i>	186
7.1.2.	<i>Extensión</i>	187
7.2.	PRUEBAS DE INTERVALOS DE MEDICIÓN	188
7.3.	CONFIGURACIÓN INICIAL DEL EQUIPO	189
7.4.	PRUEBAS DE CAJA NEGRA	190
8.	ESCENARIO DE PRUEBAS	192
8.1.	INVERNADEROS	192
8.1.1.	<i>Materiales</i>	192
8.1.2.	<i>Dimensiones</i>	193
8.1.3.	<i>Cortinas de ventilación</i>	194
8.2.	PLANTAS	195
8.2.1.	<i>Acolchado de plástico</i>	196
8.3.	RIEGO	197
8.4.	CASETA	198
8.4.1.	<i>Motor de riego</i>	198

8.5.	SOLUCIÓN IMPLEMENTADA.....	199
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	200
9.1.	VARIACIÓN DE TEMPERATURA INTERNA Y EXTERNA.....	200
9.2.	VARIACIÓN DE HUMEDAD INTERNA Y EXTERNA.....	203
9.3.	DETERMINACIÓN DE HORARIOS CRÍTICOS DE VENTILACIÓN.....	206
9.4.	GENERACIÓN DE ALERTAS.....	208
9.5.	IMPACTO DEL EQUIPO EN EL CULTIVO.....	209
10.	CONCLUSIONES.....	211
10.1.	PRINCIPALES APORTES.....	211
10.2.	TRABAJO FUTURO.....	213
10.2.1.	<i>Ventilación en dos fases (Nueva hipótesis)</i>	213
10.2.2.	<i>Modificaciones al equipo</i>	214
11.	REFERENCIAS.....	216
12.	ANEXOS.....	220
12.1.	ANEXO 1: LISTADO DE ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE TOMATES EN INVERNADERO.....	220
12.2.	ANEXO 2: TIPOS DE SENSORES.....	222
12.3.	ANEXO 3: HARDWARE DISPONIBLE EN EL MERCADO NACIONAL.....	223
12.3.1.	<i>Sensores</i>	223
12.3.2.	<i>Shields</i>	225
12.3.3.	<i>Módulos de comunicación</i>	225
12.3.4.	<i>Tarjetas de desarrollo Arduino</i>	226
12.3.5.	<i>Otros componentes</i>	228
12.4.	ANEXO 4: MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS INVERNADEROS.....	229

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: CICLO DEL CULTIVO DE TOMATE.....	20
TABLA 2: CICLO DE CULTIVO DEL TOMATE DE INVERNADERO EN LA ZONA DE UNIHUE.....	21
TABLA 3: CONDICIONES CLIMÁTICAS FAVORABLES.....	22
TABLA 4: CONDICIONES CLIMÁTICAS DESFAVORABLES.....	23
TABLA 5: PRINCIPALES ENFERMEDADES QUE AFECTAN EL CULTIVO DE TOMATES EN INVERNADERO.....	25
TABLA 6: COMPARACIÓN ENTRE SOLUCIONES ACTUALES Y EL EQUIPO IMPLEMENTADO.....	29
TABLA 7: COMPONENTES Y NÚMERO DE CONEXIONES PROTOTIPO 1.....	51
TABLA 8: LISTA DE REFINAMIENTOS, PROTOTIPO 1.....	56
TABLA 9: COMPONENTES Y NÚMERO DE CONEXIONES PROTOTIPO 2.....	61
TABLA 10: LISTA DE REFINAMIENTOS, PROTOTIPO 2.....	70
TABLA 11: COMPONENTES Y NÚMERO DE CONEXIONES PROTOTIPO 3.....	78
TABLA 12: REFINAMIENTOS, PROTOTIPO 3.....	87
TABLA 13: REQUERIMIENTOS FUNCIONALES ASOCIADOS AL CONTROL DE MEDICIONES.....	91
TABLA 14: REQUERIMIENTOS FUNCIONALES RELACIONADOS AL ALMACENAMIENTO.....	91
TABLA 15: REQUERIMIENTOS FUNCIONALES RELACIONADOS A LA GENERACIÓN DE NOTIFICACIONES.....	92
TABLA 16: REQUERIMIENTOS FUNCIONALES RELACIONADOS A LAS CONFIGURACIONES.....	93
TABLA 17: REQUERIMIENTOS FUNCIONALES RELACIONADOS AL INGRESO DE DATOS.....	94
TABLA 18: LISTADO DE ATRIBUTOS DEL SISTEMA.....	95
TABLA 19: LISTADO DE ACTORES DEL SISTEMA.....	114
TABLA 20: TABLA DE PUNTAJES DE PRIORIZACIÓN.....	153
TABLA 21: TABLA DE CUALIDADES PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS CASOS DE USO.....	154
TABLA 22: TABLA DE PRIORIZACIÓN DE LOS CASOS DE USO.....	154
TABLA 23: IDENTIFICACIÓN DE ENTIDADES DEL SOFTWARE.....	158
TABLA 24: MATRIZ DE RASTREABILIDAD DEL SOFTWARE.....	159
TABLA 25: ACCIONES Y TIEMPOS EMPLEADOS.....	188
TABLA 26: CONFIGURACIONES INICIALES DEL EQUIPO.....	189
TABLA 27: PRUEBAS DE CAJA NEGRA (ENTRADAS Y SALIDAS).....	191
TABLA 28: FRECUENCIAS Y TIEMPOS DE RIEGO.....	197
TABLA 29: COMPARATIVA ENTRE LA TEMPERATURA EXTERNA REGISTRADA POR LOS EQUIPOS Y LA REPORTADA POR LA DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE.....	201
TABLA 30: HORARIOS CRÍTICOS DE VENTILACIÓN RELACIONADOS A LA TEMPERATURA.....	206
TABLA 31: HORARIOS CRÍTICOS DE VENTILACIÓN RELACIONADOS A LA HUMEDAD.....	207
TABLA 32: HORARIOS CRÍTICOS IDENTIFICADOS PARA LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	207

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: RANKING NACIONAL DE HORTALIZAS POR SUPERFICIE EN EL AÑO 2013. (FUENTE: ELABORADO POR LA ODEPA CON INFORMACIÓN DEL INE, 2013).....	16
FIGURA 2: SUPERFICIE PLANTADA CON TOMATE PARA CONSUMO FRESCO POR REGIÓN. (FUENTE: ELABORADO POR LA ODEPA CON INFORMACIÓN DEL INE 2013).	17
FIGURA 3: ESTRUCTURA Y DIMENSIONES DE LOS INVERNADEROS (SECTOR DE UNIHUE, MAULE).....	18
FIGURA 4: DIAGRAMA DEL PROBLEMA.....	26
FIGURA 5: DIAGRAMA DE SOLUCIÓN PROPUESTA.....	27
FIGURA 6: TRANSFORMACIÓN DE DATOS EN INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN.....	32
FIGURA 7: EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA LICENCIA GPLv3.....	34
FIGURA 8: PRIMERAS INTERACCIONES CON ARDUINO.....	46
FIGURA 9: VISIÓN TOP-DOWN DEL PROTOTIPO 1.....	47
FIGURA 10: SENSOR LDR ENCARGADO DE LA PERCEPCIÓN DE LA LUZ, PROTOTIPO 1.....	48
FIGURA 11: SENSOR HS1101 ENCARGADO DE MEDIR LA HUMEDAD AMBIENTAL, PROTOTIPO 1.....	49
FIGURA 12: SENSOR ZX-THERMOMETER ENCARGADO DE MEDIR LA TEMPERATURA DENTRO DE LOS INVERNADEROS, PROTOTIPO 1.....	49
FIGURA 13: ARDUINO LOGGER SHIELD, ENCARGADO DEL ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN, PROTOTIPO 1.....	50
FIGURA 14: ARDUINO UNO R3, NÚCLEO CENTRAL DEL PROTOTIPO 1.....	52
FIGURA 15: DISEÑO TOP-DOWN DE LOS CIRCUITOS Y COMPONENTES DEL PROTOTIPO 1.....	52
FIGURA 16: CIRCUITO DE SENSORES, PROTOTIPO 1.....	53
FIGURA 17: CIRCUITO DE ALMACENAMIENTO, PROTOTIPO 1.....	53
FIGURA 18: CIRCUITO DE ALERTAS, PROTOTIPO 1.....	54
FIGURA 19: PROTOTIPO 1.....	54
FIGURA 20: PROTOTIPO 1 FUNCIONANDO DENTRO DE LOS INVERNADEROS.....	55
FIGURA 21: VISIÓN TOP-DOWN DEL PROTOTIPO 2.....	57
FIGURA 22: SENSOR SHT15 ENCARGADO DE MEDIR LAS CONDICIONES INTERNAS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD, PROTOTIPO 2.....	59
FIGURA 23: SENSOR DE HUMEDAD HIH4030 ENCARGADO DE MEDIR LA HUMEDAD FUERA DE LOS INVERNADEROS, PROTOTIPO 2.....	59
FIGURA 24: PANTALLA LCD DE 16x2 CARACTERES (IZQUIERDA) Y SERIAL LCD BACKPACK V2 (DERECHA), PROTOTIPO 2.....	61
FIGURA 25: ESQUEMA TOP-DOWN DE LOS CIRCUITOS Y COMPONENTES DEL PROTOTIPO 2.....	62
FIGURA 26: CIRCUITO DE SENSORES, PROTOTIPO 2.....	63
FIGURA 27: CIRCUITO DE ALMACENAMIENTO, PROTOTIPO 2.....	64
FIGURA 28: CIRCUITO DE ALERTAS, PROTOTIPO 2.....	64
FIGURA 29: CIRCUITO DE INFORMACIÓN, PROTOTIPO 2.....	65

FIGURA 30: GABINETE METÁLICO (EXTERNO) Y CAJA ESTANCA (INTERNA) PARA LA PROTECCIÓN DEL PROTOTIPO 2.	66
FIGURA 31: INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO 2.	66
FIGURA 32: SENSOR SHT15 EXTENDIDO 50 METROS DENTRO DE LA ESTRUCTURA DE LOS INVERNADEROS....	67
FIGURA 33: POSICIONAMIENTO DE LOS SENSORES EXTERNOS, PROTOTIPO 2.	67
FIGURA 34: PANEL LED (SUPERIOR) Y PANTALLA LCD (INFERIOR), PROTOTIPO 2.	68
FIGURA 35: PROTOTIPO 2 FUNCIONANDO A UN COSTADO DE LOS INVERNADEROS.....	69
FIGURA 36: VISIÓN TOP-DOWN DEL PROTOTIPO 3.....	71
FIGURA 37: SENSOR SEN92355P ENCARGADO DE OBTENER LA HUMEDAD DEL SUELO, PROTOTIPO 3.	73
FIGURA 38: MÓDULO GPRSBEE ENCARGADO DEL ENVÍO DE LAS ALERTAS TEMPRANAS, PROTOTIPO 3.	75
FIGURA 39: XBEE SHIELD, ENCARGADO DE ESTABLECER LA COMUNICACIÓN ENTRE EL MÓDULO GSM Y LA PLACA ARDUINO, PROTOTIPO 3.	75
FIGURA 40: PANTALLA LCD DE 20x4 CARACTERES, PROTOTIPO 3.	76
FIGURA 41: TECLADO DE MEMBRANA, PROTOTIPO 3.	77
FIGURA 42: ARDUINO MEGA, NÚCLEO CENTRAL DEL PROTOTIPO 3.	78
FIGURA 43: ESQUEMA TOP-DOWN DE LOS CIRCUITOS Y COMPONENTES DEL PROTOTIPO 3.	79
FIGURA 44: CIRCUITO DE SENSORES, PROTOTIPO 3.	80
FIGURA 45: CIRCUITO DE ALMACENAMIENTO, PROTOTIPO 3.	81
FIGURA 46: CIRCUITO DE ALERTAS, PROTOTIPO 3.	81
FIGURA 47: CIRCUITO DE CONFIGURACIÓN, PROTOTIPO 3.	82
FIGURA 48: GABINETE METÁLICO (EXTERNO) Y CAJA ESTANCA (INTERNA) PARA LA PROTECCIÓN DEL PROTOTIPO 3.	83
FIGURA 49: INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO 3.	83
FIGURA 50: INSTALACIÓN DE LOS SENSORES DE SUELO Y AGUA, PROTOTIPO 3.	84
FIGURA 51: POSICIONAMIENTO DE LOS SENSORES EXTERNOS (IZQUIERDA) Y GPRSBEE (DERECHA), PROTOTIPO 3.	84
FIGURA 52: PANEL LED, PANTALLA Y TECLADO (IZQUIERDA) Y CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS (DERECHA) DEL PROTOTIPO 3.....	85
FIGURA 53: PUNTOS DE CONEXIÓN EXTERNOS, PROTOTIPO 3.	86
FIGURA 54: PROTOTIPO 3 FUNCIONANDO A UN COSTADO DE LOS INVERNADEROS.....	86
FIGURA 55: DIAGRAMA GENERAL DE CASOS DE USO.	131
FIGURA 56: MODELO CONCEPTUAL.	132
FIGURA 57: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU01: INICIAR MEDICIÓN".....	133
FIGURA 58: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU02: MEDIR TEMPERATURA INTERNA".....	133
FIGURA 59: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU03: MEDIR HUMEDAD INTERNA".....	134
FIGURA 60: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU04: MEDIR TEMPERATURA EXTERNA".....	134
FIGURA 61: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU05: MEDIR HUMEDAD EXTERNA".....	135
FIGURA 62: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU06: MEDIR TEMPERATURA SUELO".....	135

FIGURA 63: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU07: MEDIR HUMEDAD SUELO".	136
FIGURA 64: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU08: MEDIR TEMPERATURA AGUA".	136
FIGURA 65: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU09: MEDIR LUMINOSIDAD".	137
FIGURA 66: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU10: ALMACENAR DATOS".	137
FIGURA 67: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU11: ENVIAR ALERTAS".	138
FIGURA 68: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU12: ACTUALIZAR TELÉFONO".	138
FIGURA 69: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU13: ACTUALIZAR INTERVALO MEDICIÓN".	139
FIGURA 70: DIAGRAMA DE SECUENCIA CASO DE USO "CU14: ACTUALIZAR UMBRALES".	140
FIGURA 71: MODELO DE DOMINIO.	157
FIGURA 72: DIAGRAMA DE COLABORACIÓN DEL CASO DE USO "CU01: INICIAR MEDICIÓN".	161
FIGURA 73: DIAGRAMA DE COLABORACIÓN DEL CASO DE USO "CU02: MEDIR TEMPERATURA INTERNA".	162
FIGURA 74: DIAGRAMA DE COLABORACIÓN DEL CASO DE USO "CU03: MEDIR HUMEDAD INTERNA".	162
FIGURA 75: DIAGRAMA DE COLABORACIÓN DEL CASO DE USO "CU04: MEDIR TEMPERATURA EXTERNA".	163
FIGURA 76: DIAGRAMA DE COLABORACIÓN DEL CASO DE USO "CU05: MEDIR HUMEDAD EXTERNA".	163
FIGURA 77: DIAGRAMA DE COLABORACIÓN DEL CASO DE USO "CU10: ALMACENAR DATOS".	164
FIGURA 78: DIAGRAMA DE COLABORACIÓN DEL CASO DE USO "CU11: ENVIAR ALERTA".	164
FIGURA 79: DIAGRAMA DE CLASES.	165
FIGURA 80: DIAGRAMA DE DISEÑO DE PAQUETES.	166
FIGURA 81: DIAGRAMA DE ARQUITECTURA DE SOFTWARE.	168
FIGURA 82: DIAGRAMA DE ESTADOS DEL DISPOSITIVO.	169
FIGURA 83: DIAGRAMA DE PAQUETES, PROTOTIPO 1.	172
FIGURA 84: EXTRACTO DE CÓDIGO QUE PERMITE LA DIFERENCIACIÓN ENTRE EL DÍA Y LA NOCHE, PROTOTIPO 1.	173
FIGURA 85: EXTRACTO DE CÓDIGO PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL DÍA Y HORA DE MEDICIÓN, ADEMÁS DE LA CREACIÓN DEL ARCHIVO DE RESPALDO.	175
FIGURA 86: DIAGRAMA DE PAQUETES, PROTOTIPO 2.	176
FIGURA 87: EXTRACTO DE CÓDIGO PARA EL INICIO DE LA COMUNICACIÓN SERIAL ESTÁNDAR (PINES 0 Y 1) CON UN BAUDAJE DE 9600.	178
FIGURA 88: EXTRACTO DE CÓDIGO PARA EL ENCENDIDO Y APAGADO DE LAS ALERTAS LED, PROTOTIPO 2.	180
FIGURA 89: EXTRACTO DE CÓDIGO PARA EL REGISTRO DE LAS CONDICIONES INTERNAS Y EXTERNAS DE LOS INVERNADEROS, PROTOTIPO FINAL.	182
FIGURA 90: EXTRACTO DE CÓDIGO DEL MENÚ DE CONFIGURACIONES, PROTOTIPO FINAL.	183
FIGURA 91: EXTRACTO DE CÓDIGO PARA EL ENVÍO DE ALERTAS.	185
FIGURA 92: CLIMATIZACIÓN DE LOS SENSORES SHT15.	186
FIGURA 93: PRUEBAS DE EXTENSIÓN DEL SENSOR INTERNO.	187
FIGURA 94: IMAGEN SATELITAL DEL SECTOR DE UNIHUE.	192
FIGURA 95: EJEMPLO DE ESTRUCTURA PRINCIPAL DE LOS INVERNADEROS.	193
FIGURA 96: DIMENSIONES DE LOS INVERNADEROS ESTUDIADOS.	193

FIGURA 97: CORTINAS DE LOS INVERNADEROS. [A] CORTINAS ABIERTAS (VENTILACIÓN NATURAL), [B] CORTINAS CERRADAS (INVERNADEROS NO VENTILADOS).....	194
FIGURA 98: ESQUEMA DE CORTINAS DE VENTILACIÓN. [A] APERTURA CON PROTECCIÓN PARA ANIMALES, [B] APERTURA SIN PROTECCIÓN PARA ANIMALES.....	195
FIGURA 99: PLANTAS DE TOMATE EN PROCESO DE TRASPLANTE.....	195
FIGURA 100: DISTRIBUCIÓN DE ACOLCHADOS PLÁSTICOS EN LOS INVERNADEROS.....	196
FIGURA 101: DISTRIBUCIÓN DE PLANTAS EN LOS ACOLCHADOS DE PLÁSTICO.....	196
FIGURA 102: CONECTORES PARA CINTAS DE GOTEO INTRODUCIDOS EN LA MANGUERA (PLANZA) TRANSPORTADOR DE AGUA HACIA LOS INVERNADEROS.....	197
FIGURA 103: EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN DE LAS CINTAS DE GOTEO EN EL ACOLCHADO CENTRAL.....	197
FIGURA 104: POZO DE EXTRACCIÓN DE AGUA PARA EL RIEGO DE LOS INVERNADEROS.....	198
FIGURA 105: MOTOR DE REGADÍO.....	198
FIGURA 106: UBICACIÓN DE LA SOLUCIÓN. [A] INVERNADEROS (ORIENTACIÓN NORTE-SUR), [B] POSICIÓN DE LA CASETA, [C] POSICIÓN DEL EQUIPO.....	199
FIGURA 107: PROMEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA INTERNA Y EXTERNA.....	200
FIGURA 108: DISTANCIA APROXIMADA ENTRE LA ESTACIÓN GENERAL FREIRE DE LA DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE Y LA SOLUCIÓN IMPLEMENTADA (SECTOR UNIHUE).....	202
FIGURA 109: CURVAS DE TEMPERATURA INTERNA Y TEMPERATURA EXTERNA DEL DÍA 04-12-2014.....	202
FIGURA 110: PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD INTERNA Y EXTERNA.....	204
FIGURA 111: PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD DEL SUELO.....	205
FIGURA 112: CORROSIÓN DEL SENSOR SEN92355P.....	205
FIGURA 113: EJEMPLO DE ALERTA ENVIADA POR EL EQUIPO.....	208
FIGURA 114: FUNGICIDA APLICADO PARA EL CONTROL DEL HONGO DE LA BOTRYTIS.....	210
FIGURA 115: PROPUESTA DE NUEVA METODOLOGÍA DE VENTILACIÓN (T°: TEMPERATURA, HR: HUMEDAD RELATIVA).....	214

RESUMEN

La Región del Maule por sus características climáticas y suelos fértiles es una zona propicia para el desarrollo de actividades agropecuarias. Uno de los cultivos que ha tenido un gran desarrollo a nivel regional y nacional es el tomate, llegando a ser el tercer cultivo hortícola con mayor superficie en el país, donde la Región del Maule es responsable del 19% de la producción nacional. El cultivo de tomate en invernadero es muy popular en las zonas rurales de la región donde el 94,4% de las hectáreas son cultivadas bajo esta modalidad. Un ejemplo de esto son las localidades de Unihue y Colín, ambas ubicadas al sur de la ciudad de Talca, donde las plantaciones de tomate en invernadero representan la principal actividad económica para las familias de estos sectores. Algo crucial en el buen desarrollo del tomate en invernadero es la mantención de un clima favorable al interior de la estructura, lo que significa evacuar el exceso de humedad y calor producidos en momentos de alta insolación por medio de la ventilación natural. Esta ventilación hoy en día es realizada por los agricultores bajo la experiencia, es decir, cuando ellos lo estiman pertinente, y actualmente no existe ningún tipo de información asociada a las variables climáticas que existen dentro de los invernaderos. Frente a este problema, se ha implementado un dispositivo para la monitorización de tomates en invernadero mediante el uso de la tecnología Arduino, informando al agricultor cuando las condiciones interiores de los invernaderos sean desfavorables para el cultivo por medio de la generación de alertas vía SMS, de este modo se logró mantener un control más estable sobre el proceso de ventilación natural, bajando las pérdidas asociadas a la aparición de hongos en el cultivo y reduciendo la aplicación de fungicidas relacionados a su control, lo que se tradujo en un beneficio tanto económico como medioambiental.

ABSTRACT

The Region of Maule, due to its fertile soil and climatic characteristics is a favorable area for the development of agricultural activities. One of the crops that has had a great development at regional and national level is the tomato, becoming the third vegetable crop with the largest surface in the country, where the Maule Region is responsible for 19% of the national production. The cultivation of greenhouse tomato is very popular in rural areas of the region where 94.4% of the hectares are cultivated under this method. An example of this are the localities of Unihue and Colin, both located south of the city of Talca, where greenhouse tomato plantations represent the main economic activity for the families of these sectors. Something crucial in the successful development of greenhouse tomato is the maintenance of a favorable climate within the structure, which means evacuate excess moisture and heat produced at times of high sunstroke through natural ventilation. Farmers today do this ventilation when they deem it appropriate, that is, according to their experience. Currently, there is no information related to climatic variables that exist within greenhouses. Facing this problem, we have implemented a device for monitoring greenhouse tomatoes using the Arduino technology, informing the farmer when internal conditions are unfavorable for growing, by generating SMS alerts. This way, a more stable control of the natural ventilation process was achieved, lowering the losses associated with the apparition of fungi in the cultivation and reducing fungicide application related to its control, which resulted in a benefit both economic and environmental.

1. INTRODUCCIÓN

La Región del Maule por sus características climáticas y suelos fértiles es una zona propicia para el desarrollo de actividades agropecuarias, así lo manifiesta el Ministerio de Agricultura, organismo que contempla esta área productiva como la principal actividad económica de la región. Así mismo, dicho organismo también expresa que esta actividad económica es la principal fuente de trabajo en la región, llegando a superar el 25% del total de fuerza laboral de la zona (Estay y González, 2013).

A modo general, uno de los cultivos que ha tenido un crecimiento importante y un impacto positivo tanto en el mercado agrícola regional como nacional es el tomate. Siendo una hortaliza de estación climática cálida, y a pesar de su gran sensibilidad a las heladas, el tomate está presente en los mercados del país durante todo el año. El amplio rango de condiciones agroclimáticas que ofrece el territorio nacional hace posible su cultivo desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Los Lagos (Monardes et al., 2009). El cultivo de tomate ha tenido en los últimos años un desarrollo tecnológico importante. La rentabilidad de este cultivo ha permitido su avance, a diferencia de otros cultivos hortícolas que se han ido quedando atrás. En este sentido, el tomate para consumo fresco es el tercer cultivo hortícola con mayor superficie a nivel nacional, después del choclo y la lechuga, de acuerdo a las estimaciones del INE¹ para el año 2013 (Figura 1).

¹ Instituto Nacional de Estadísticas.

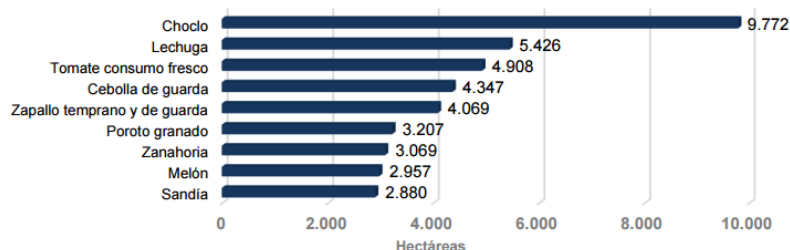


Figura 1: Ranking nacional de hortalizas por superficie en el año 2013. (Fuente: Elaborado por la ODEPA² con información del INE, 2013).

Se estima una producción de tomate para consumo fresco de aproximadamente 388.000 toneladas a nivel nacional, donde cerca del 20% de la superficie corresponde a invernaderos, lo que superaría las 1.000 hectáreas bajo este tipo de producción. Por otro lado, más del 50% de la superficie nacional con tomate para consumo fresco se concentra entre las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Maule, siendo esta última la región con mayor superficie de esta hortaliza, con un total de 1.010 hectáreas (19% de la superficie nacional), seguida de la Región de Valparaíso, con 966 hectáreas (18%), y en tercer lugar la Región Metropolitana, con 867 hectáreas (16%) (Flaño, 2013).

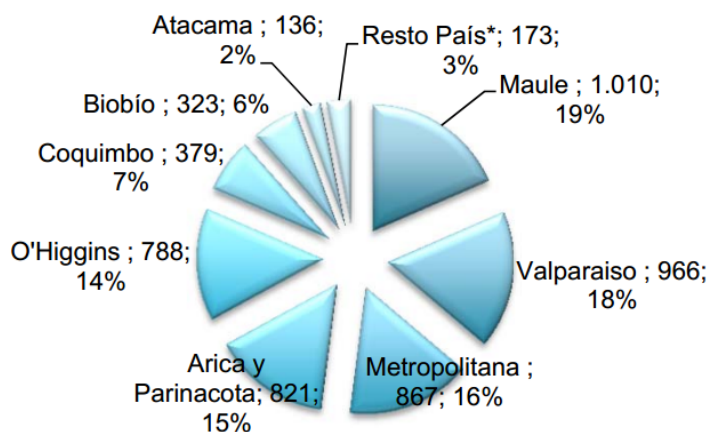


Figura 2: Superficie plantada con tomate para consumo fresco por región. (Fuente: Elaborado por la ODEPA con información del INE 2013).

De las hectáreas plantadas en el Maule, el 94,4% corresponden a plantaciones de invernadero, siendo el método de cultivo más utilizado para la producción de esta

² Oficina de Estudios Agrícolas.

hortaliza a nivel regional (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2007). El cultivo de tomates en invernadero es muy popular en las zonas rurales de la región. Un claro ejemplo de lo anterior son las localidades de Unihue y Colín, ambas ubicada al sur de la ciudad de Talca y próximas a la comuna de Maule, donde esta última concentra el mayor porcentaje de productores de tomate de invernaderos que abastecen gran parte de la demanda desde Talca al sur de Chile (Riquelme y Carrasco, 2006). En este sentido, las plantaciones de tomate en invernadero se han transformado durante los años en la principal actividad económica para las familias de estos sectores.

1.1. Tomates de invernadero

El sistema de producción de tomates en invernadero se caracteriza por la protección mediante estructuras levantadas, generalmente de madera (o metal) y cobertura de plástico, con el fin de evitar el impacto de la lluvia sobre el cultivo. El invernadero es una estructura, en la que las partes correspondientes a las paredes y el techo están cubiertos con películas plásticas, con la finalidad de desarrollar cultivos en un ambiente más controlado de temperatura y humedad en comparación a los cultivos al aire libre (Jaramillo et al., 2006). Se pueden tener construcciones simples a bajo costo, y otras más sofisticadas con instalaciones y equipos para un mejor control del ambiente. En el caso de este proyecto, los invernaderos monitorizados corresponden a estructuras diseñadas por los propios agricultores de la localidad de Unihue, cuyos materiales principales son la madera y el nylon, y sus dimensiones aproximadas son presentadas en la siguiente imagen.

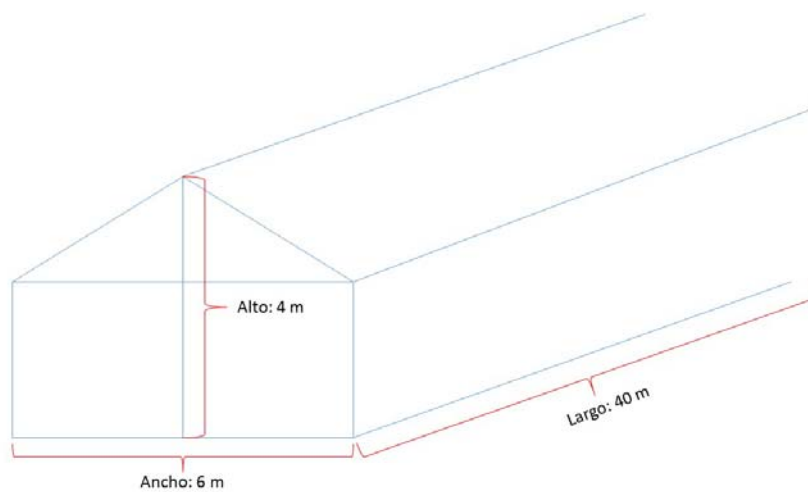


Figura 3: Estructura y dimensiones de los invernaderos (sector de Unihue, Maule).

1.1.1. Ventajas del cultivo en invernadero

Entre los problemas de las plantaciones de tomate al aire libre, el primero de ellos es que la mayoría de estos cultivos deben producirse en climas cálidos. Recordando que el tomate es un cultivo muy sensible a las heladas, cultivarlo al aire libre en un clima como el de la región, donde suelen producirse heladas podría ser devastador para la plantación. Por otro lado, el control de las condiciones climáticas al aire libre es muy complicada (Lagunas, 2013) donde destacan la aparición de diversas enfermedades debido a las lluvias y pérdidas a causa del ataque de nematodos e insectos.

Frente a lo anterior, el cultivo en invernadero suele traer consigo una serie de beneficios. En la región, los pequeños productores de tomates de invernadero obtienen su producción anticipadamente comparada con los que aún producen al aire libre, alcanzando mejores precios durante el período de octubre a diciembre (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2007). A continuación se señalan las principales ventajas del cultivo de tomates en invernaderos (Jaramillo et al., 2006):

- **Protección contra condiciones climáticas extremas:** Los invernaderos permiten un control contra las lluvias, granizadas, bajas de temperatura, vientos, y la presencia de rocío en los cultivos.

- **Mejor calidad de la cosecha:** Dentro de un ambiente protegido, las condiciones de producción favorecen la obtención de productos sanos, similares en forma, tamaño y madurez.
- **Preservación del suelo:** En un ambiente protegido, el suelo permanece bien estructurado, firme y no sufre las consecuencias de la erosión a causa de las lluvias o el viento, disminuyendo el lavado de nutrientes dentro del perfil del suelo, por lo que las plantas obtienen mayor disponibilidad de los mismos, reflejándose en una mayor productividad por unidad de área.
- **Ahorro en costos de producción:** Existe un ahorro en los costos de producción, pues se aumenta la producción por unidad de área, se produce un incremento en la eficiencia de los insumos agrícolas, y disminuye el número de insumos aplicados.
- **Disminución en la utilización de pesticidas:** Dentro de los invernaderos es posible la utilización de mallas y cubiertas para evitar la entrada de insectos, lo que permite un control más efectivo de las plagas, disminuyendo el uso de pesticidas.

1.1.2. Ciclo de cultivo del tomate de invernadero

La duración del ciclo de cultivo del tomate está determinada por la variedad y por las condiciones climáticas de la zona en la cual se establece la plantación. Las fases de desarrollo identificadas en literatura (Jaramillo et al., 2006) son descritas a continuación.

Etapa	Duración (días)
Antes del trasplante	
Semillero	0 – 30
Trasplante	30 – 35
Después del trasplante	
Floración	28 – 35
Formación del fruto	55 – 60
Cosecha	85 – 90

Tabla 1: Ciclo del cultivo de tomate.

El desarrollo vegetativo de la planta comprende cuatro etapas principales que se inician desde la siembra (en el semillero), seguida de la germinación; posteriormente la formación de tres a cuatro hojas verdaderas y finalmente el trasplante a la tierra, con una duración aproximada de 30 a 35 días. Luego de este tiempo, se produce la fase reproductiva que incluye la floración (que se inicia a los 25 – 28 días después del trasplante), de formación del fruto y llenado de este, hasta la madurez para su cosecha, la cual se inicia en el primer racimo entre los 85 a 90 días después del trasplante. La etapa reproductiva tiene una duración de 180 días aproximadamente. De forma general, el ciclo total del cultivo es de aproximadamente siete meses (Jaramillo et al., 2006).

Llevando este escenario a la región, los pequeños agricultores suelen utilizar variedades larga vida. Dichas variedades presentan una mayor duración post-cosecha; mayor a 22 días (Escaff et al., 2005). En las zonas de Unihue y Colín se ha cultivado principalmente la variedad *María Italia*, sin embargo, durante el último tiempo se ha evidenciado una tendencia general de cambio hacia la variedad *Ichiban* (Asociación de Viveros de Chile, 2014). En dichas zonas, independiente de la variedad cultivada, las etapas identificadas anteriormente para el desarrollo del tomate se llevan a cabo de la siguiente forma.

Etapas	Descripción	Meses
Semillero	En esta etapa los agricultores envían las semillas a empresas que se preocupan del desarrollo vegetativo y la germinación de éstas, hasta la formación de tres a cuatro hojas verdaderas.	Junio
		Julio
Trasplante	Cuando las plantas son devueltas a los agricultores, se procede al trasplante desde las bandejas del semillero a la tierra de los invernaderos.	Agosto
Floración	Luego del trasplante se produce a aparición de las primeras flores en los racimos inferiores de la planta.	Septiembre
Formación de fruto	Al cabo de un mes luego de la aparición de las	Octubre

	primeras flores es posible observar la formación de frutos.	
Producción	En esta etapa los frutos alcanzan el estado de madurez para su cosecha, la cual inicia en el primer racimo.	Noviembre
		Diciembre
		Enero
Término	En esta etapa se retiran los últimos tomates de los racimos superiores de las plantas para luego ser arrancadas del interior de los invernaderos.	Febrero

Tabla 2: Ciclo de cultivo del tomate de invernadero en la zona de Unihue.

Es importante destacar que esta información es complementaria a la descrita en literatura en base a la producción tradicional de tomates de invernadero en la zona de Unihue. Sin embargo, hay algunas consideraciones que mencionar.

- a) Durante la etapa de trasplante es común realizar replantaciones, debido a que no todas las plantas logran adecuarse a las nuevas condiciones.
- b) Durante la fase de floración los agricultores emplean abejas como método de polinización y reproducción del cultivo.
- c) En la etapa de producción los tomates son comercializados en cajas de madera de entre 15 a 18 kilos generalmente en el Parque Industrial de Talca.

1.1.3. Condiciones climáticas

El tomate es considerado como una planta de clima cálido, ya que presenta una gran sensibilidad a las heladas. Como se mencionó en las secciones anteriores, los invernaderos ayudan enormemente al mantenimiento de las condiciones climáticas, debido a la generación de un microclima favorable al interior de la estructura.

1.1.3.1. Condiciones climáticas favorables

A continuación se describen las características climáticas óptimas para el correcto desarrollo de los tomates en invernadero (Castilla y Prados, 2007) (Monardes et al., 2009) (Jaramillo et al., 2006).

Condición	Rango óptimo
Temperatura	18 – 30°C (Día) 15 – 22°C (Noche)
Humedad	60 – 80%

Tabla 3: Condiciones climáticas favorables³.

1.1.3.2. Condiciones climáticas desfavorables

En cuanto a las condiciones internas del invernadero, en ocasiones se producen variaciones que provocan que las condiciones climáticas descendan o superen los rangos óptimos, en este sentido, dichas variaciones pueden suscitar una serie de efectos negativos sobre el cultivo (Monardes et al., 2009) (Jaramillo et al., 2006).

Condición	Valor desfavorable	Repercusiones sobre el cultivo
Temperatura	Mayor a 30°C	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la viabilidad y cantidad del polen. - Asimetría en la forma de la inflorescencia. - Cambios morfológicos. - Fecundación defectuosa (mal llenado de frutos).
	Menor a 18°C	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la viabilidad y cantidad del polen. - Distorsión y elongación del ovario y deformación del fruto. - Distorsión de estambres. - Entrenudos cortos y plantas compactas.
Humedad	Mayor a 80%	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo de enfermedades (principalmente del tipo fungosas). - Manchado. - Grietas. - Frutos huecos. - Fecundación defectuosa. - Compactación del polen.

³ Valores aproximados en relación a la literatura referenciada.

		- Caída de flores.
	Menor a 60%	- Aumento de transpiración de la planta. - Reducción de la fotosíntesis. - Deshidratación del polen. - Anomalías en la fecundación.

Tabla 4: Condiciones climáticas desfavorables.

Además de las anomalías mencionadas anteriormente, las condiciones desfavorables favorecen la aparición de enfermedades que pueden llegar a producir enormes pérdidas durante el desarrollo y producción del cultivo.

1.1.4. Enfermedades comunes en la producción de tomates en invernadero

El estatus de enfermedad se define como un estado de anormalidad de la planta, en el cual se ve reducido su potencial productivo, asociado a un deterioro de su estructura (o del fruto) e incluso su colapso. Su aparición generalmente se debe a condiciones climáticas adversas o por deficiencias nutricionales (Jaramillo et al., 2006).

Las condiciones ambientales, principalmente altas temperaturas y humedad relativa, características en el cultivo de tomate bajo invernadero, favorecen el desarrollo de las enfermedades. Cuando se producen ataques severos producto de un mal manejo de las temperaturas y la ventilación del invernadero o de una detección tardía y control deficiente, se pueden producir importantes pérdidas de fruta tanto en precosecha como en postcosecha. A continuación se describen las principales enfermedades que afectan al cultivo de tomate en invernadero⁴ (Escaff et al., 2005) (Monardes et al., 2009).

Enfermedad	Agente	Causas	Daños
- Pudrición gris - Tizón de la flor - Botrytis	<i>Botrytis cinérea</i>	- Temperatura entre 15 y 25°C. - Humedad relativa sobre	- Pudrición de hojas, flores, frutos y tallos.

⁴ Para ver la lista completa de enfermedades véase la sección Anexos, Anexo 1.

		95%.	
- Cladosporiosis - Moho foliar - Mildiu	<i>Cladosporium fulvum</i>	- Temperatura entre 20 y 24°C. - Humedad relativa sobre 85%.	- Manchas amarillas en la superficie de las hojas.
- Raíz corchosa	<i>Pyrenochaeta lycopersici</i> <i>Fusarium oxysporum</i>	- Suelo húmedo. - Temperatura entre 15 y 20°C (trazas frías). - Temperatura entre 26 a 30°C (trazas mediterráneas).	- Amarillamiento progresivo y menor desarrollo de la planta. - Manchas necróticas en las raíces. - Destrucción del sistema radicular.
- Cancro bacteriano	<i>Clavibacter michiganensis</i>	- Temperatura entre 24 y 28°C. - Exceso de humedad.	- Marchitez de los folíolos. - Hojas curvas y reseca.
- Necrosis medular (o Médula negra)	<i>Pseudomonas corrugata</i>	- Exceso de humedad. - Exceso de nitrógeno.	- Clorosis de las hojas. - Marchitez de la planta. - Necrosis del tallo.

Tabla 5: Principales enfermedades que afectan el cultivo de tomates en invernadero.

La mayoría de las enfermedades que pueden afectar a los tomates se propicia por un exceso de humedad, esto debido a que genera agua libre sobre las plantas. Frente a esto, una de las enfermedades más comunes es la botrytis. Esta enfermedad aparece debido a que la humedad no es manejada dentro de los rangos adecuados, en algunas épocas esta condición puede llegar a nivel de saturación, lo que junto a temperaturas adecuadas produce una mayor incidencia de la enfermedad (Escaff et al., 2005).

1.2. Problema

Como se mencionó anteriormente, si bien los invernaderos son una solución para la protección del cultivo y propician un mejor desarrollo de los tomates, éstos crean en su interior microclimas que bajo ciertas condiciones y períodos de tiempo generan un efecto negativo sobre las condiciones de temperatura y humedad relativa al interior de la estructura, elevando su valor (o descendéndolo) fuera de los rangos óptimos, lo cual puede afectar el desarrollo del cultivo, y en el peor de los casos propiciar la aparición alguna de las enfermedades descritas anteriormente.

En base a las estructuras implementadas hoy en día, la única solución para controlar el problema de los valores elevados de temperatura y humedad es la ventilación natural. Actualmente, para ventilar los invernaderos los agricultores instalan “cortinas” móviles en las fachadas frontales y laterales, de modo de facilitar el ingreso del aire exterior. Este es un método válido, sin embargo, su aplicación es efectuada bajo la experiencia, esto significa que los usuarios abren la estructura cuando lo estiman conveniente, sin ninguna base relacionada al comportamiento las condiciones interiores de los invernaderos. En este sentido, también es importante destacar que actualmente los agricultores no tienen registros de las condiciones internas de sus invernaderos, y mucho menos se ha realizado una identificación clara de los horarios críticos de ventilación de la estructura asociados a las variaciones de temperatura y humedad interiores.



Figura 4: Diagrama del problema.

Una apertura muy temprana puede descender los niveles de las condiciones interiores por debajo de los rangos óptimos, por otro lado, una ventilación tardía provoca el confinamiento del aire interior de la estructura, haciendo que las condiciones internas superen los valores máximos recomendados. En ambos casos, se producen alteraciones en los frutos, se promueve la aparición de enfermedades y se modifica el proceso de fecundación, provocando serios daños en el desarrollo del cultivo.

1.3. Solución propuesta

Dado el problema anterior, esta memoria de título desarrolló un método que permite asistir al agricultor en la aplicación efectiva del proceso de ventilación natural, bajo la identificación de las condiciones interiores de los invernaderos, e informando por medio de alertas (mensajes de texto) y luces de advertencia cuando dichas condiciones sean perjudiciales para el cultivo, con el fin de conservar las condiciones climáticas de los invernaderos dentro de los rangos óptimos.

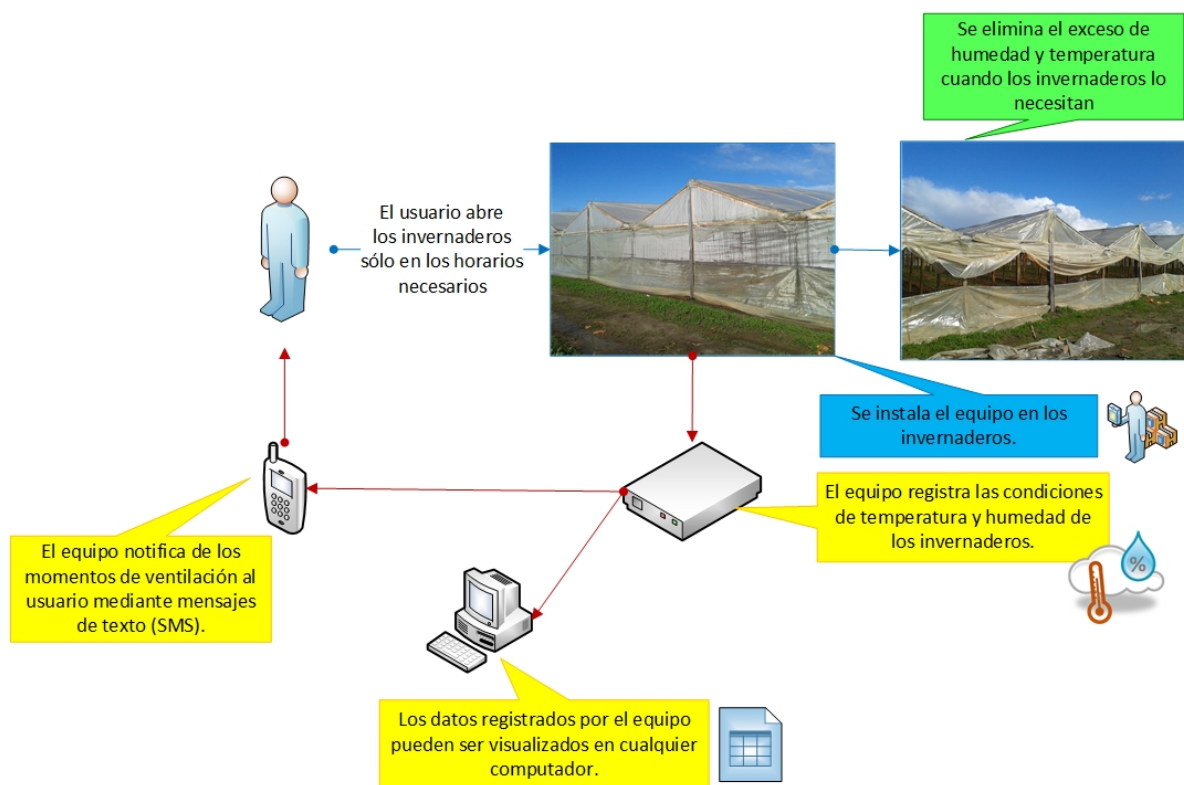


Figura 5: Diagrama de solución propuesta.

Para su implementación se utilizaron distintas tecnologías como sensores, tarjetas de desarrollo electrónico, servicios de mensajería y el desarrollo de un producto de software robusto, capaz de coordinar y controlar todas las funcionalidades de la solución.

1.4. Soluciones actuales

La integración de nuevas tecnologías a la agricultura no es algo reciente, en el mercado se pueden encontrar productos que miden condiciones como temperatura y humedad de ciertas zonas, e incluso pueden guardar información de las mediciones obtenidas, sin embargo, presentan ciertas desventajas que los hacen poco útiles en el ámbito agrícola de esta memoria.

- **Termómetros e higrómetros digitales**

Estos equipos utilizan circuitos electrónicos para convertir en número las pequeñas variaciones de tensión obtenidas, mostrando finalmente la temperatura o la humedad en un visualizador. Si bien estos artefactos son capaces de medir las condiciones de temperatura y/o humedad del ambiente, es necesaria una acción permanente del usuario sobre ellos, es decir, para realizar la medición, el usuario debe trasladarse al sitio donde se van a obtener las medidas.

- **Dataloggers**

Un datalogger es un dispositivo electrónico que se encarga de registrar datos por medio de sensores e instrumentos propios y/o externos. Estos aparatos pueden medir las condiciones tanto de temperatura y humedad de una zona, sin embargo, no implementan un sistema de alertas, y su funcionamiento se centra solo en el almacenamiento de los datos registrados.

- **Estaciones meteorológicas**

Las estaciones meteorológicas son instalaciones destinadas a registrar regularmente diversas variables del ambiente. Generalmente son utilizadas para la elaboración de predicciones meteorológicas o para estudios climáticos. Si bien dichas estaciones pueden ser aplicadas a la agricultura,

están orientadas a grandes extensiones de terreno y su precio es muy elevado en comparación a otros artefactos de medición, siendo una solución muy poco viable económicamente para los pequeños agricultores de las zonas rurales.

A continuación se presenta una tabla comparativa entre las soluciones actuales y el equipo implementado en esta memoria de título.

	Termómetros o higrómetros digitales	Dataloggers	Estaciones Meteorológicas	Equipo implementado
Registro de temperatura y humedad	SI	SI	SI	SI
Luces de advertencia	NO	NO	NO	SI
Pantalla	SI	SI	SI	SI
Teclado	NO	NO	NO	SI
Envío de alertas	NO	NO	NO	SI
Almacenamiento de datos	NO	SI	SI	SI
Extensión de sensores	NO	NO	NO	SI

Tabla 6: Comparación entre soluciones actuales y el equipo implementado.

1.5. Alcances y limitaciones del proyecto

Como se puede observar en la tabla anterior, el equipo cuenta con variadas prestaciones en comparación a las soluciones actuales. A continuación se destacan los principales alcances y limitaciones del proyecto, los cuáles están enfocados al desarrollo del equipo y su implementación.

- a) Las mediciones realizadas por el equipo solo son registradas durante el día, ya que en la noche los invernaderos permanecen cerrados.

- b) Las alertas generadas se basan en los umbrales máximos de temperatura y humedad reportados por la literatura, pudiendo ser modificados si el usuario (u otro profesional del área agrícola) lo estima pertinente.
- c) El envío de las alertas es realizado por medio del servicio de mensajería corto (SMS) a un único teléfono celular.
- d) La solución es dependiente de una conexión eléctrica, por lo que debe ser ubicado cerca de una fuente de poder.
- e) El producto final está desarrollada de tal forma que su implementación no requiere efectuar cambios significativos en la estructura de los invernaderos.

2. MARCO TEÓRICO

En el capítulo anterior se contextualizó y se describió de forma general el problema y la solución propuesta en esta memoria de título. En este capítulo se abordarán una serie de conceptos relacionados a las tecnologías empleadas en el desarrollo y funcionalidad de la solución.

2.1. Sensores

Los sensores son instrumentos que permiten detectar magnitudes físicas o químicas llamadas variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctricas (ejemplos de estos se muestran en la sección Anexos, Anexo 2). Estos sensores pueden ser conectados entre sí para la construcción de equipos de medición similares al implementado en esta memoria de título. Dichos equipos consisten en dispositivos distribuidos en un espacio, que utilizan sensores para percibir cooperativamente condiciones físicas y/o ambientales (por ejemplo, temperatura, sonido, vibración, presión, movimiento o contaminantes) en diferentes lugares (Johnson et al., 2009). La conectividad aplicada a los sensores ya sea cableada o inalámbrica no es tanto una característica propia de éstos, sino más bien corresponde a un facilitador de su aplicación (Healy et al., 2008).

Los equipos que emplean sensores son actualmente utilizados para monitorizar y controlar varios tipos de ambientes, inclusive sistemas biológicos, ya que aumentan la precisión de los datos adquiridos (Asada et al., 1999). Hay que destacar que los sensores son la base de los equipos de monitorización, ya que son los responsables de la percepción de los datos (Zhang y Zhang, 2012). El desarrollo de estos equipos constituye una tecnología prometedora para una amplia variedad de aplicaciones. Usadas inicialmente en ámbitos militares, ahora se han extendido a muchas áreas industriales y de interés social, como controles del proceso de producción, monitorización de la salud, automatización de la casa (*domótica*) (Bonino et al., 2009), o control del tráfico (Aguirre, 2009).

En este proyecto se han utilizado una serie de sensores encargados de obtener las condiciones climáticas tanto dentro como fuera de los invernaderos cuyas características son definidas en capítulos posteriores, frente a esto, es importante destacar que la utilización de sensores y la creación de equipos de monitorización está tomando un rol muy fuerte en la agricultura, naciendo una nueva área de desarrollo denominada *Agricultura Inteligente*.

2.2. Agricultura Inteligente

Esta área tecnológica está indisolublemente ligada al desarrollo de equipos para la determinación remota (en sitios específicos) y en tiempo real de los diferentes factores que perjudican el desarrollo y rendimiento de plantaciones (Herrera Suárez et al., 2011). En este sentido, se destaca la integración de distintas tecnologías: sensores, tecnologías de la información (TI), procesamiento de imágenes, comunicaciones, análisis matemáticos, estadísticos, y equipos mecánicos en actividades agrícolas. Dicha integración se lleva a cabo mediante la transformación de datos “brutos” en información para construir y entregar herramientas de decisión, con el objetivo de mejorar la gestión y la rentabilidad del agricultor.

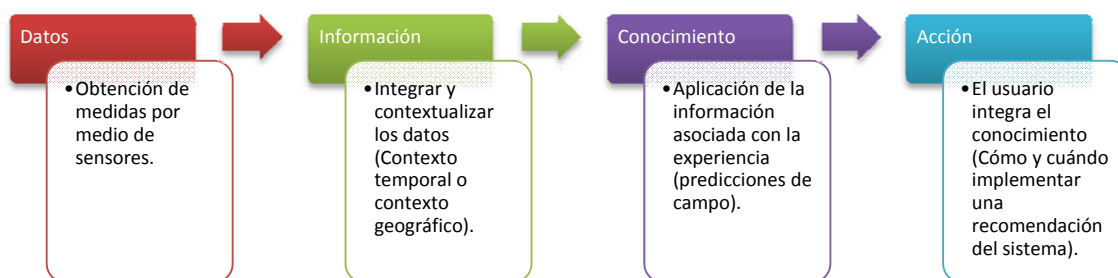


Figura 6: Transformación de datos en información para la gestión.

El equipo implementado se basa en este proceso de transformación de datos en información para la gestión en la identificación de los horarios críticos de ventilación y la mantención de un mejor control sobre el proceso de ventilación de los invernaderos. En este sentido, el equipo desarrollado implementa una serie de sensores encargados de medir las condiciones de interés, esto se traduce en una serie de datos los cuales son relacionados a un contexto temporal, registrando la

fecha y hora de cada medición, por otro lado, dichos datos son comparados con los rangos óptimos de las condiciones que afectan el desarrollo del cultivo (temperatura y humedad), generando una alerta cuando las condiciones registradas por el equipo superan dichos rangos. Finalmente se envía esta información al usuario, siendo este último quien realiza el proceso de ventilación de la estructura.

2.3. Software libre

Generalmente los usuarios compran un software, donde el fabricante impone las condiciones bajo las cuales puede ser usado, prohibiendo, por ejemplo, compartirlo con otros usuarios. Además, este tipo de programas no pueden ser adaptados a las necesidades propias del usuario, ni siquiera para corregir errores, siendo necesario esperar a que el fabricante los solucione. Este tipo de problemas suscitaron el nacimiento de un nuevo movimiento y desarrollo de software llamado “Software libre”. De este modo, el término “Software libre” libertad, las cuales se pueden expresar en cuatro libertades concretas (González Barahona et al., 2003):

- Libertad para ejecutar el programa en cualquier sitio, con cualquier propósito y para siempre.
- Libertad para estudiarlo y adaptarlo a las propias necesidades, exigiendo acceso al código fuente.
- Libertad de distribución, de modo que se propicie la colaboración entre usuarios.
- Libertad para mejorar el programa y publicar las mejoras.

Estas libertades se pueden organizar de acuerdo con la legalidad vigente por medio de una licencia, donde se plasman las libertades, pero también restricciones en cuanto al uso, distribución y modificación de un software. En términos simples, la licencia es un “contrato” entre el autor y los usuarios, que estipula lo que éstos pueden hacer con su obra y bajo qué condiciones. En este sentido, existe una amplia gama de licencias donde sus diferencias básicas residen en las condiciones de uso y redistribución del programa.

Frente a lo anterior, este proyecto ha implementado un licenciamiento libre en sus códigos, dando acceso al código fuente del equipo. Para ello se ha utilizado la “Licencia Pública General de GNU (GNU GPL)” en su tercera versión.

2.3.1. Licencia GNU GPLv3

La Licencia Pública General del proyecto GNU (más conocida por su acrónimo en inglés GPL) corresponde a una autoría de la Free Software Foundation y permite la redistribución de los códigos fuente, asimismo, permite realizar modificaciones sin restricciones e integrar el código licenciado con otro que se encuentre bajo una licencia idéntica o compatible. Cuando se habla de software libre, se refiere a la libertad, no al precio. Esta licencia está diseñada para asegurar la libertad de distribuir copias del software (y cobrar por ello si así se desea), de manera que alguien que posea el código fuente o que pueda conseguirlo, tenga la libertad de cambiar dicho código, o usar fragmentos de él en nuevos programas libres (Stallman, 2004).

Para hacer válida esta licencia, se añaden un conjunto de cláusulas al código fuente del programa. Por convención, dichas cláusulas se agregan al principio del programa.

```
<one line to give the program's name and a brief idea of what it does.>
Copyright (C) <year> <name of author>

This program is free software: you can redistribute it and/or modify
it under the terms of the GNU General Public License as published by
the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
(at your option) any later version.

This program is distributed in the hope that it will be useful,
but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License
along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
```

Figura 7: Ejemplo de aplicación de la licencia GPLv3.

2.4. Hardware libre

El término de “código abierto” u “open source” originalmente sólo era aplicado a proyectos de software con códigos fuente disponibles para que otros los pudieran

modificar, mejorar y distribuir. En la actualidad, el *código abierto* también está aplicándose a los proyectos de hardware, que en su mayoría incluyen el diseño de placas de circuitos impresos (Harnett, 2011). Este tipo de placas posee muchas ventajas, permitiendo el desarrollo más rápido de aplicaciones gracias a la flexibilidad en su utilización y modificación. A diferencia de su contraparte de software, el concepto de hardware libre es relativamente nuevo. Una de las tecnologías más prominentes en este ámbito es *Arduino*, como se indica en el IEEE Spectrum “*Arduino se ha convertido en el movimiento de hardware libre más influyente de este tiempo*” (Kushner, 2011).

2.4.1. Arduino

Arduino es una plataforma de prototipo de código abierto que, en su esencia, consiste en un microcontrolador programable que puede evaluar múltiples parámetros usando una variedad de sensores y puede afectar a su entorno mediante luces de control, motores y otros componentes (Gomez et al., 2012). Una ventaja de esta plataforma es que es de bajo costo y completamente ampliable, donde los periféricos opcionales llamados *shields* pueden extender las capacidades de Arduino, añadiéndole nuevas prestaciones y características funcionales (Juang y Lurrr, 2013). Otra ventaja importante de esta plataforma es que disminuye la complejidad de la programación (Purusothaman et al., 2013) ya que, su lenguaje se basa y soporta C/C++ (Sarik y Kymissis, 2010), además de poseer un *Entorno de Desarrollo Integrado (IDE)* el cuál se encuentra disponible para Windows, OS X y Linux, facilitando aún más su programación.

2.4.1.1. Estructura de programación

La estructura de programación de Arduino es bastante particular. Un programa en Arduino se denomina *sketch* y puede ser dividido en dos funciones principales:

- **void setup():** Esta función es llamada cuando inicia un sketch. En ella se inicializan las variables, pines, creación de objetos, etc. La función sólo se ejecuta una vez, para iniciarla nuevamente es obligatorio reiniciar la placa Arduino.

- **void loop():** Esta función se inicia una vez culminada la función *setup()*, y como su nombre lo indica, crea un ciclo consecutivo que se ejecuta de forma infinita. En esta función se realizan las acciones del programa, permitiendo percibir cambios y generar respuestas, controlando activamente la placa Arduino.

2.4.1.2. Objetos, datos e interacciones

La plataforma Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el lenguaje de alto nivel *Processing*. Dada su versatilidad, Arduino también soporta la creación de nuevas librerías mediante el empleo de C++, soportando inclusive la orientación a objetos de este lenguaje.

Pese a lo anterior, cada programa creado debe ajustarse al esquema de programación propio de Arduino, donde cabe destacar nuevamente que la función *loop()* crea un ciclo infinito de ejecución, por lo que los objetos e interacciones creadas entre las entidades se verán afectadas una y otra vez, para controlar esta situación es imprescindible el uso de estructuras de control como *if*, *else*, *for*, *while*, entre otros.

2.4.1.3. Aplicación en agricultura

El uso de Arduino en tecnologías y aparatos de monitorización actualmente se potencia en áreas como la medicina (Kemiss et al., 2012; Kioumars y Tang, 2011; Orha y Oniga, 2013), agricultura de precisión (Silva et al., 2012), militar (Hempenius et al., 2012), meteorología (Trono et al., 2012), educación (Al-Busaidi, 2012), inteligencia artificial (Gomes et al., 2011), mecatrónica (Divakar, 2011), entre muchas otras. Ejemplos concretos de su aplicación en agricultura se destacan en los trabajos de (Silva et al., 2012) donde se desarrolló una red de sensores inalámbricos para su aplicación en agricultura de precisión, en dicho trabajo se usó la plataforma de desarrollo Arduino y el protocolo de comunicación *ZigBee* para el control de los sensores, logrando un tratamiento más eficaz a los problemas de desperdicio de energía, agua y pesticidas agrícolas, así como el control cuantitativo y cualitativo de los procesos de riego. Por otro lado, el trabajo de (Santoshkumar et al., 2013) ha propuesto un sistema con el uso de la tecnología Arduino, para la detección de

posibles brotes de gripe aviar en pollos, esto se hizo gracias a la monitorización de la temperatura corporal del cuerpo y los movimientos de las aves, sobre la base que una variación repentina en la temperatura corporal del cuerpo y movimientos lentos de los pollos son indicios de la presencia del virus. Otro estudio destacable es el de (Valente et al., 2011) donde gracias a un sistema de colaboración formado por sensores y un robot aéreo se logró la monitorización en tiempo real de las condiciones de congelamiento en viñedos.

Por su parte, este proyecto también se basó en el uso de esta tecnología, y demuestra entre otras cosas que un sistema basado en hardware y software libre puede mostrar grandes beneficios tanto económicos como funcionales.

2.5. Servicio de mensajería corto (SMS)

La comunicación inalámbrica ha sido una de las industrias de más rápido crecimiento durante los últimos años. En este ámbito, GSM (del inglés Global System for Mobile) es el primer sistema para especificar la modulación, nivel de red y arquitectura de servicios digitales para móviles de manera inalámbrica. En la actualidad, GSM es uno de los sistemas de telecomunicaciones para móviles más populares, es ampliamente utilizado en todo el mundo, atrayendo cada vez más la atención en el campo de las telecomunicaciones (Gu y Peng, 2010). Para su utilización es necesaria una tarjeta SIM (Subscriber Identify Module), la cual contiene toda la información de identificación, facturación, números de teléfono, entre otros datos (Oancea, 2011).

Uno de los servicios más reconocidos de este sistema es el Servicio de Mensajería Corto (SMS, por sus siglas en inglés), el cual es un protocolo básico para enviar y recibir mensajes en forma de texto a través de los teléfonos celulares (bin Haji Sidek, 2010). En este proyecto se empleó dicho servicio para el envío de alertas por medio de SMS de advertencia, informando cuando las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de los invernaderos superaron los rangos óptimos para el desarrollo del cultivo. Una de las principales ventajas de la utilización de este servicio para el envío de alertas es que es un servicio de comunicación entre todos los

teléfonos móviles existentes, sin diferenciar los teléfonos celulares comunes de los smartphones.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

En esta sección se describe la hipótesis, el objetivo general y los objetivos específicos abordados durante el desarrollo del proyecto.

3.1. Hipótesis

La implementación de una solución de monitorización de las condiciones climáticas en invernaderos de tomates permitirá determinar los horarios críticos de temperatura y humedad relativa, registrando las condiciones climáticas tanto dentro como fuera de la estructura e informando al usuario mediante alertas cuando se alcancen los rangos máximos de dichas condiciones, lo cual asistirá a los agricultores en la aplicación oportuna de proceso de ventilación.

3.2. Objetivo general

Esta memoria de título tiene como principal objetivo implementar una solución de monitorización en invernaderos de tomates que permita la determinación de los horarios críticos de las condiciones de temperatura y humedad dentro de la estructura.

3.3. Objetivos específicos

- A. Construir un producto que permita la implementación física de la solución.
- B. Desarrollar un sistema de software para la gestión de los datos y la generación de alertas.
- C. Evaluar el impacto de la solución en el proceso de cultivo del tomate de invernadero.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Un punto muy importante en el desarrollo de este proyecto fue la metodología de investigación a la cual abstraerse, en este sentido, durante la construcción y desarrollo del equipo se buscó una metodología general que involucrara tanto el desarrollo electrónico como el desarrollo de software.

La parte electrónica se compone de las distintas versiones físicas del equipo (Hardware), las cuales debieron ser desarrolladas en tiempos muy cortos hasta llegar a una versión estable que lograra cumplir los objetivos planteados. Por otro lado, el desarrollo del código fuente (Software) debía ajustarse a una metodología que lograra reunir todos los artefactos de software de un prototipo en particular e incrementar su nivel de desarrollo hasta un producto final. Dadas estas dos líneas de desarrollo, se han utilizado dos metodologías diferentes para hardware y software, si bien son metodologías distintas ambas no son excluyentes, por lo que se hicieron converger en que cada uno de los prototipos finales contiene varias iteraciones propias de su software.

4.1. Modelo de prototipos (Hardware)

Un prototipo es una versión preliminar, intencionalmente incompleta o reducida de un sistema. El uso de prototipos es una estrategia que puede aplicarse en casi todas las actividades de desarrollo de software o construcción de equipos electrónicos. El propósito de los prototipos es obtener rápidamente la información necesaria para ayudar en la toma de decisiones, en este sentido, un prototipo no es un producto de calidad que deba mantenerse a largo plazo. Por el contrario, los prototipos son creados y probados rápidamente, para luego ser desechados (exceptuando el prototipo que cumpla con las características deseadas). Sin embargo, es común que por presiones de tiempo, se trate de enviar un prototipo al mercado como si éste fuera el producto final.

Los prototipos creados en esta memoria se centraron en probar sensores, generar alertas y poder almacenar la información del registro de las condiciones climáticas de los invernaderos. Una vez construido cada equipo, se evaluaron sus componentes y comportamiento, refinando el hardware y agregando nuevas piezas para la construcción del siguiente prototipo. Esta metodología se basa en una serie de etapas cortas, las cuales se describen a continuación.

4.1.1. Planeación previa y análisis

Para la determinación de las especificaciones técnicas de cada prototipo y las prestaciones que estos debían entregar, se utilizó el diseño *Top-Down*. En este sentido, es importante destacar que generalmente el desarrollo de un producto de hardware se lleva a cabo bajo este modelo de diseño, donde el desarrollador genera primero un bosquejo global del producto y sus componentes principales. Posteriormente dicho boceto es refinado a un nivel más detallado, identificando los requisitos técnicos del producto. La especificación abstracta de un equipo por lo general puede ser capturada en una estructura que consta de los principales componentes o subsistemas (módulos) del producto, especificando por cada uno sus características, relaciones y restricciones (Mantyla, 1990).

Entre las ventajas del proceso de modelado bajo el diseño Top-Down se destacan las siguientes (Mantyla, 1990):

- Proporciona una representación del producto en varios niveles.
- Cada nivel especifica características diferentes del producto.
- Define detalles de diseño como relaciones y restricciones entre los niveles, los cuales son tratados como pasos a seguir en etapas posteriores de desarrollo.
- Contempla el rediseño del producto mediante mejoras y modificaciones, permitiendo volver a una etapa anterior.
- Proporciona herramientas de documentación, donde cada nivel captura las especificaciones funcionales del producto.

Este diseño fue utilizado en la construcción de los prototipos de este proyecto, porque además de las ventajas señaladas evita problemas que surgen con otras

metodologías de diseño como por ejemplo *Bottom-Up*, ya que el diseño inicial es subdividido en subdiseños que a su vez se pueden seguir dividiendo hasta llegar a diseños mucho menores y más sencillos de tratar, lo que permitió centrarse en el desarrollo de áreas específicas en cada prototipo, de este modo, como en el diseño electrónico de cada prototipos entraron en juego una cantidad considerable de componentes, estos pudieron ser organizados de tal forma que resultara fácil su comprensión, identificando los módulos necesarios en cada caso, a modo de especificaciones técnicas de cada prototipo.

Algo destacable de haber diseñado bajo Top-Down es que este modelo considera los refinamientos o iteraciones como una característica importante en el desarrollo de un producto, contemplando el proceso de rediseño como algo fundamental para el éxito de una solución (Mantyla, 1990). De esta forma se facilitó la modificación y evolución de cada prototipo en un siguiente equipo.

4.1.2. Diseño rápido

En esta etapa se identificaron los componentes principales que satisfacían las especificaciones técnicas definidas en la etapa anterior. La determinación de dichos componentes se basa principalmente en los refinamientos del prototipo anterior, sin embargo, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones.

- a) **Precisión:** Los componentes seleccionados, específicamente los sensores, deben contar con una precisión alta, debido a que es muy importante identificar los momentos en que las condiciones de temperatura y humedad de los invernaderos se encuentran por sobre los valores normales.
- b) **Núcleo central:** Como se mencionó en secciones anteriores, la tecnología a utilizar para el núcleo del equipo es Arduino. En este sentido, Arduino presenta una gran gama de productos como tarjetas de desarrollo, cada una de ellas soporta una cantidad limitada de conexiones, por lo que para su selección se tuvo en consideración la cantidad de conexiones requeridas por los componentes de cada prototipo.

4.1.3. Construcción del prototipo

Cada prototipo se basa en la construcción del circuito de cada módulo identificado por el diseño Top-Down, esto significa que cada prototipo final estará compuesto por una serie de subcircuitos complementarios conectados al núcleo central, de esta forma, se logra la interacción de los distintos componentes de forma modular, siendo Arduino el componente encargado de la coordinación y funcionamiento de cada equipo.

Para la representación de los circuitos se utilizó el software Fritzing⁵, herramienta que permite la automatización del diseño electrónico por medio de una interfaz gráfica (Knörig et al., 2009). Fritzing contiene una gran biblioteca de componentes como sensores, luces, placas de desarrollo, shields, entre otros, e incluso da la posibilidad de crear nuevos componentes y almacenarlos en su biblioteca para la construcción de nuevos circuitos.

4.1.4. Evaluación

Para la evaluación de cada prototipo se realizaron pruebas de campo, es decir, cada equipo se colocó físicamente en los invernaderos y se dejó funcionar por un período determinado de tiempo, observando su comportamiento y recogiendo los datos registrados por los sensores. Estas pruebas permitieron evaluar de forma real la precisión de los sensores, la resistencia de la estructura del equipo a condiciones adversas (lluvia, intemperie, humedad, altas temperaturas, etc.), y la eficiencia en la generación de alertas.

Cada prototipo también fue presentado a los agricultores, donde pudieron observar su funcionamiento e interactuar con el equipo, lo que fue muy importante para la reconfiguración de este y la determinación de nuevos componentes.

4.1.5. Refinamientos

Luego de evaluar cada prototipo, se listaron una serie de modificaciones (refinamientos) al hardware que posteriormente se verían reflejadas en el siguiente

⁵ Más información en: <http://fritzing.org/home/>.

equipo, y así sucesivamente hasta llegar a un prototipo estable y que cumpliera con las características deseadas.

4.2. Modelo de desarrollo iterativo (Software)

De manera informal, un proceso de desarrollo de software describe un enfoque para la construcción, desarrollo y, posiblemente, mantenimiento del software. El Proceso Unificado (UP) (Jacobson et al., 1999) se ha convertido en un proceso de desarrollo de software de gran éxito para la construcción de sistemas orientados a objetos. El UP fomenta muchas buenas prácticas, pero una destaca sobre las demás: el desarrollo iterativo. En este enfoque, el desarrollo se organiza en una serie de mini-proyectos cortos, de duración fija (por ejemplo semanas) llamados iteraciones; el resultado de cada uno es un sistema que puede ser probado, integrado y ejecutado. Cada iteración incluye sus propias actividades de análisis de requisitos, diseño, implementación y pruebas.

El ciclo de vida iterativo se basa en la ampliación y refinamientos sucesivos del sistema mediante múltiples iteraciones, con retroalimentación cíclica y adaptación como elementos principales para converger en un sistema adecuado. El software crece incrementalmente a lo largo del tiempo, iteración tras iteración, y por ello, este enfoque también se conoce como desarrollo iterativo e incremental (Craig, 2004). Aunque, en general, cada iteración aborda nuevos requisitos y amplía el sistema incrementalmente, una iteración podría, ocasionalmente, volver sobre el software que ya existe y mejorarlo; por ejemplo, una iteración podría centrarse en mejorar el rendimiento de un sistema, en lugar de extenderlo con nuevas características.

Cada iteración conlleva la elección de un pequeño conjunto de requisitos y, rápidamente, diseñar, implementar y probar. En las primeras iteraciones, la elección de los requisitos y el diseño podrían no ser exactamente lo que se desea al final, esto lleva a una rápida retroalimentación tanto de los usuarios, como de los desarrolladores. Entonces, cada iteración se considera un sub-proyecto que genera productos de software y no sólo documentación, permitiendo al desarrollador tener

puntos de verificación y control más rápidos, induciendo un proceso continuo de pruebas y de integración desde las primeras iteraciones (Gil y Alberto, 2006).

Los beneficios del desarrollo iterativo son variados, entre ellos se encuentran:

- Mitigación de riesgos altos (técnicos, requisitos, objetivos, usabilidad y demás).
- Progreso visible (el progreso es altamente visible en las primeras etapas).
- Temprana retroalimentación (los errores se van corrigiendo en cada iteración).
- Gestión de complejidad (no existen iteraciones demasiado largas o complejas).

El desarrollo del software este proyecto se llevó a cabo bajo la metodología de desarrollo iterativo, destacando cuatro macro-niveles o etapas generales, acompañadas de una retroalimentación en cada iteración del software, dichas etapas se describen a continuación.

4.2.1. Análisis y requerimientos

En esta etapa se abordó la descripción de todos los requisitos y especificaciones para el desarrollo del software. Estos requerimientos están mediados por el análisis y escritura de artefactos como funciones, atributos del sistema e identificación de requisitos no funcionales. Algunos requisitos no necesitan la presencia del usuario para ser capturados y/o analizados, siendo propuestos por el mismo desarrollador, tales como: arquitectura del sistema, requisitos relativos al rendimiento, nivel de soporte de errores, plataformas de desarrollo, relaciones internas entre la información (por ejemplo entre registros de las tablas de datos).

4.2.2. Diseño

En la etapa de diseño, se incluyen todos los aspectos del software como arquitectura global, objetos, clases, bases de datos y otros. Durante el diseño de objetos, como Arduino se basa y soporta C/C++, se desarrolló una solución bajo el paradigma de Programación Orientada a Objetos (POO) (Cox y Novobilski, 1991). El punto clave de esta solución es la creación de los *casos de uso*, los cuales representan la

interacción de los distintos actores y la respuesta del sistema. Luego se crean distintos artefactos que culminan con el diseño de un *diagrama de clases*, resumiendo de esta manera las clases y objetos del software, los cuales deben ser implementados.

4.2.3. Implementación

Esta etapa es una descripción del proceso de implementación del producto software, dividiendo este proceso de desarrollo en iteraciones. En este caso, cada iteración depende de una anterior, mejorando sus características y funcionalidad, algo similar al desarrollo de los prototipos, sin embargo, existe una diferencia fundamental, ya que en una iteración no necesariamente se expanden las capacidades del sistema, sino más bien se centra en mejorar la eficiencia del producto.

4.2.4. Pruebas

Las pruebas del producto de software generan una serie de etapas donde se describe el escenario de desarrollo y posibles usos alternativos del producto. Una vez superadas las pruebas, éstas convergen en el despliegue final de la aplicación para su puesta en producción.

Hay que destacar que la fase de inicio no es una fase de requisitos, sino más bien un espacio para analizar la viabilidad del proyecto, donde se lleva a cabo el estudio suficiente para decidir si continuar o no, esto se entrelaza con los prototipos y refinamientos realizados al hardware, donde se determinan las prestaciones que debe entregar el equipo y cómo el software se adaptó a ellas.

5. DESARROLLO DE PROTOTIPOS

Las primeras pruebas con Arduino consistieron en el diseño de circuitos básicos, controlando el encendido y apagado de luces, movimiento de motores y la lectura de sensores análogos.

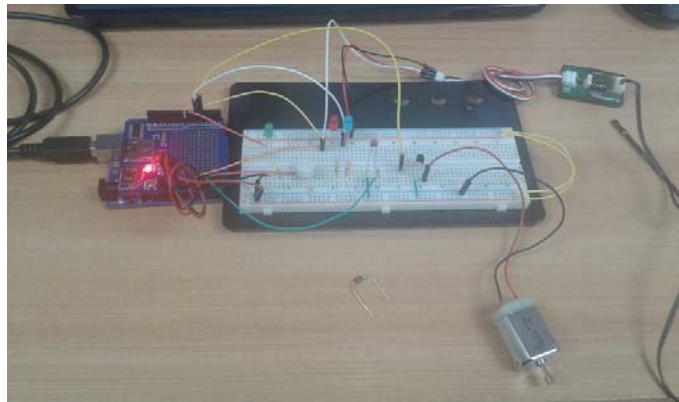


Figura 8: Primeras interacciones con Arduino.

Una vez conocido y estudiado el sistema, se adquirieron componentes primarios como sensores y algunos Shields, comenzando el diseño del primer prototipo.

A continuación se describe el proceso de desarrollo de cada uno de los prototipos construidos en esta memoria de título, se recomienda que antes o durante la lectura de los prototipos se revise la sección de “Anexos, Anexo 2” donde se presenta una lista del hardware disponible en el mercado nacional y los componentes analizados en este proyecto.

5.1. Prototipo 1

El primer prototipo debía ser capaz de registrar las condiciones de temperatura y humedad dentro de los invernaderos y almacenar las medidas obtenidas en una unidad de almacenamiento. También se hizo necesario controlar su funcionamiento, esto quiere decir que el equipo debía funcionar solo de día, ya que es en ese periodo donde se realiza la ventilación de los invernaderos.

5.1.1. Planeación previa y análisis

Dada las características requeridas para el prototipo 1, éste fue dividido en cuatro módulos complementarios, estos son: Núcleo principal, módulo de sensores, módulo de almacenamiento y módulo de alertas. A continuación se presentan los requerimientos técnicos del primer prototipo desde la perspectiva Top-Down.

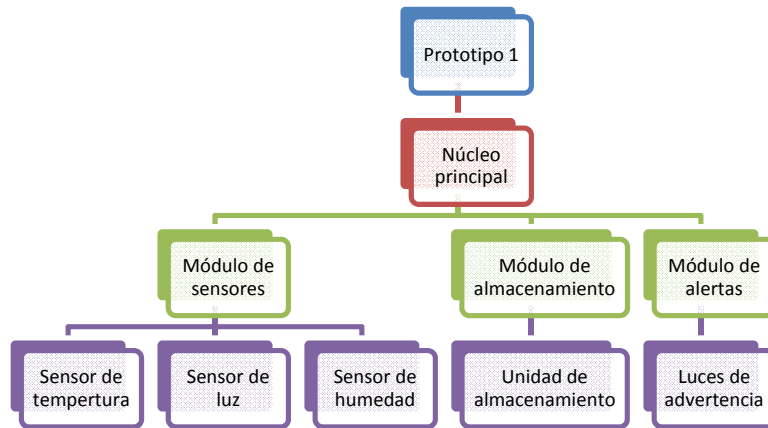


Figura 9: Visión Top-Down del prototipo 1.

En el esquema se pueden observar los distintos módulos y sus componentes. Cada una de estas divisiones cumple una función específica y complementaria, la cual se describe a continuación:

- **Núcleo principal:** El núcleo principal se encarga de coordinar el funcionamiento del equipo e integra todos los módulos del prototipo.
- **Módulo de sensores:** Se encarga de obtener las medidas registradas por los sensores dentro de los invernaderos.
- **Módulo de almacenamiento:** Se encarga de almacenar los datos obtenidos por los sensores en una unidad de almacenamiento.
- **Módulo de alertas:** Se encarga de notificar al usuario mediante luces de advertencia cuando la temperatura y/o la humedad superan los umbrales normales.

5.1.2. Diseño rápido

Los componentes utilizados en este prototipo fueron separados por módulo, donde se seleccionaron los que se adaptaron de mejor forma a las características deseadas.

5.1.2.1. Módulo de sensores

En cuanto a los sensores de luz, se analizaron dos opciones; TEMT6000 y LDR. Ambos sensores presentan prácticamente las mismas características, sin embargo, el sensor TEMT6000 en términos económicos cuesta el triple que la fotocelda (LDR), por lo que se optó por esta última como componente principal para la percepción de la luz. El sensor LDR o fotocelda corresponde a un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. El sensor detecta el nivel de luz y produce una señal analógica proporcional a la cantidad de luz detectada, para ello emplea un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica.



Figura 10: Sensor LDR encargado de la percepción de la luz, prototipo 1.

Para el registro de la humedad relativa dentro de los invernaderos, se usó el sensor HS1101, si bien este sensor no presenta una alta precisión, poseía disponibilidad inmediata para la realización de pruebas. Basado en una única celda capacitiva, cuando el aire cambia su permitividad con respecto a la humedad del ambiente, penetra el campo eléctrico que hay entre las placas del sensor, varía el dieléctrico, variando consecuentemente el valor de capacidad.



Figura 11: Sensor HS1101 encargado de medir la humedad ambiental, prototipo 1.

Por otro lado, para obtener la condición de temperatura dentro de los invernaderos se usó el sensor ZX-Thermometer, este sensor trabaja con un termistor NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo, por sus siglas en inglés) conectado a un cable de aproximadamente un metro de longitud. La salida del termistor NTC es convertida a un voltaje que es directamente proporcional a la temperatura, valor que es procesado por el núcleo central y es transformado a una unidad de temperatura estándar como grados Celsius. Su rango de medición va desde los -20 a los 85°C, con una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.



Figura 12: Sensor ZX-Thermometer encargado de medir la temperatura dentro de los invernaderos, prototipo 1.

5.1.2.2. Módulo de almacenamiento

Para abordar el módulo de almacenamiento se tenían tres opciones en el mercado; Arduino Logger Shield, Arduino M2M Shield y Arduino microSD. Todos permitían comunicar a Arduino con una unidad de almacenamiento de tipo microSD por medio de una comunicación SPI (del inglés Serial Peripheral Interface), sin embargo, el Arduino Logger Shield presentó una característica especial que lo hizo más ventajoso frente a los otros. Este Shield tiene incorporado un reloj de tiempo real

(RTC), dándole la capacidad de registrar la fecha y hora en un momento determinado, datos que posteriormente fueron asociados a las mediciones de los sensores. Además, en su estructura contiene un portapilas, lo que permite que el reloj siga funcionando aun cuando el Shield o la placa Arduino no posean corriente eléctrica, siendo el componente ideal para las tareas de almacenamiento.

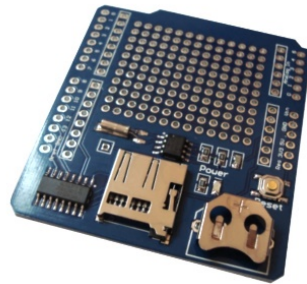


Figura 13: Arduino Logger Shield, encargado del almacenamiento de información, prototipo 1.

En cuanto al registro de la información, se almacenaron archivos identificados por el día de medición, cuyo contenido corresponde a las condiciones captadas por los sensores. El formato de los archivos es totalmente abierto, destacando el uso de la extensión *Comma-Separated Values (CSV)*. En dichos archivos la información está distribuida de la siguiente forma:

- **Columna 1:** Fecha.
- **Columna 2:** Hora.
- **Columna 3:** Temperatura interna.
- **Columna 4:** Humedad interna.
- **Columna 5:** Luminosidad interna.

5.1.2.3. Módulo de alertas

El primer equipo implementó una forma de fácil comprensión que mostrara al usuario cuando la temperatura y/o humedad internas superaran los umbrales normales. Para ello se utilizaron tres luces LED las cuales cumplían las siguientes tareas:

- **LED verde:** Informa cuando el equipo está funcionando, es decir, cuando está encendido.

- **LED rojo:** Informa cuando el umbral de temperatura se ha superado, es decir, se enciende cuando la temperatura en el interior de los invernaderos es superior al máximo establecido en el equipo.
- **LED azul:** Informa cuando el umbral de humedad ha sido superado, es decir, se enciende cuando la humedad al interior de los invernaderos es superior al máximo establecido en el equipo.

5.1.2.4. Núcleo central

Para la elección del núcleo central (placa Arduino) se tuvo en consideración la cantidad de componentes y conexiones (pines) requeridas por cada uno.

Componente	Cantidad	Número de conexiones	
		Análogas	Digitales
LDR	1	1	0
HS1101	1	1	0
ZX-Thermometer	1	1	0
Arduino Logger Shield	1	2	5
Luces LED	3	0	3
Total de conexiones requeridas		5	8

Tabla 7: Componentes y número de conexiones prototipo 1.

Como se puede observar, para la construcción de este prototipo se requirieron por lo menos 5 conexiones análogas y 8 conexiones digitales. Frente a esto, la mayoría de las placas Arduino contienen la cantidad de pines requeridos, sin embargo, por temas de disponibilidad se determinó el uso de la placa Arduino Uno como núcleo central del primer prototipo. Arduino Uno es una placa basada en el microcontrolador ATmega328. Posee 14 pines digitales (de los cuáles 5 pueden utilizarse para salidas PWM), 6 entradas analógicas y 1 puerto serial (UART). Tiene una velocidad de reloj de 16MHz, una memoria de programa (Flash) de 32KB, una memoria de datos

(SRAM) de 2KB y una memoria auxiliar (EEPROM) de 1KB, además de una conexión USB, un conector de alimentación y un botón de reinicio⁶.



Figura 14: Arduino Uno R3, núcleo central del prototipo 1.

5.1.3. Construcción del prototipo

Dado el diseño Top-Down de las especificaciones técnicas, y los componentes seccionados, se determinaron las conexiones necesarias entre los distintos módulos (ahora circuitos) del prototipo.

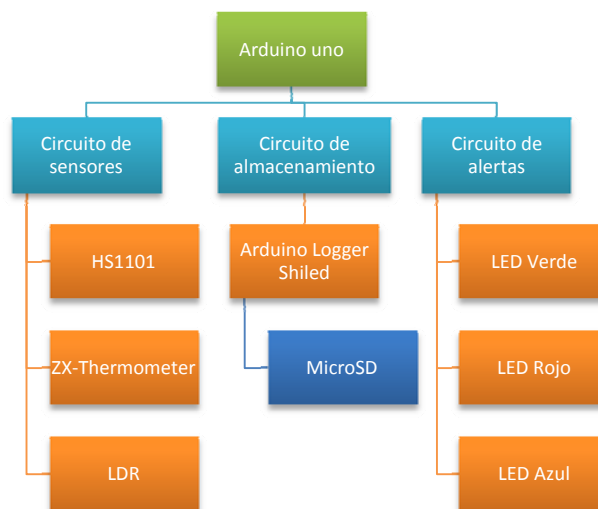


Figura 15: Diseño Top-Down de los circuitos y componentes del prototipo 1.

A continuación se describe cada uno de los circuitos identificados en el esquema anterior. Cabe destacar que cada uno de estos circuitos está conectado al Arduino Uno, entendiendo esto como que todos los componentes se conectan en paralelo al

⁶ Más información en: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>.

núcleo central, quien se encarga de coordinar y controlar el funcionamiento de todo el equipo.

5.1.3.1. Circuito de sensores

Este circuito conecta todos los sensores utilizados en este prototipo; ZX-Thermometer (Temperatura), HS1101 (Humedad) y LDR (Luz).

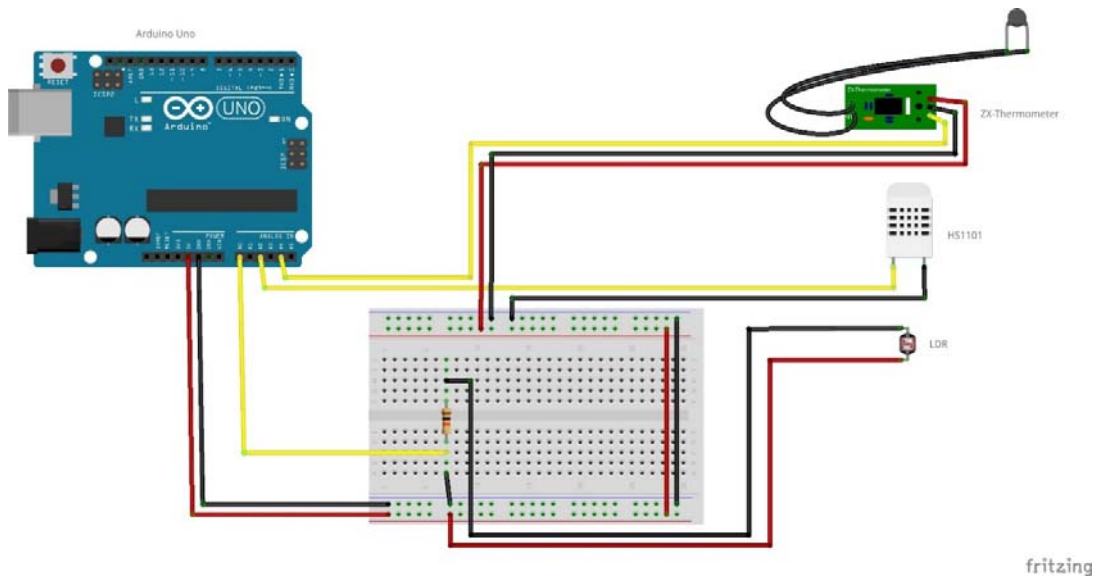
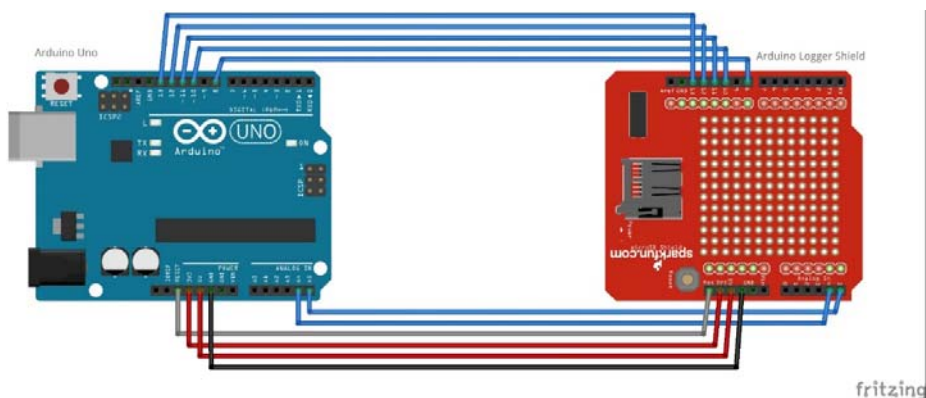


Figura 16: Circuito de sensores, prototipo 1.

5.1.3.2. Circuito de almacenamiento

Este circuito establece las conexiones entre el Arduino Uno y el Arduino Logger Shield.



5.1.3.3. Circuito de alertas

Este circuito presenta las conexiones de las luces LED que indican cuando el equipo está encendido y cuando las condiciones de temperatura y/o humedad han excedido los umbrales normales.

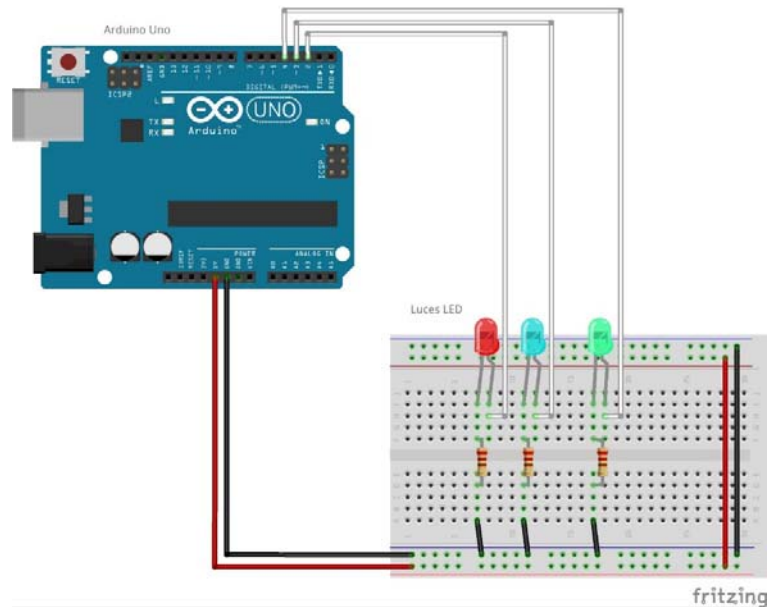


Figura 18: Circuito de alertas, prototipo 1.

5.1.3.4. Contenedor

El contenedor para este prototipo fue construido con materiales reciclados, donde destaca la utilización de un recipiente para microondas.



Figura 19: Prototipo 1.

5.1.4. Evaluación

El prototipo fue colocado al interior de los invernaderos y se dejó funcionar por un periodo corto de tiempo (aproximadamente una semana) donde cabe destacar que dicho prototipo corresponde a un Producto Mínimo Viable (PMV), entendido como aquella versión del producto que permite crear, medir y aprender del entorno con un mínimo esfuerzo y el mínimo tiempo de desarrollo. La idea central de este prototipo fue conocer en primera instancia el funcionamiento de los sensores, el almacenamiento de datos, y el comportamiento del equipo en los invernaderos.



Figura 20: Prototipo 1 funcionando dentro de los invernaderos.

Luego de su funcionamiento, el equipo fue desconectado y se recuperaron los datos almacenados en la tarjeta de memoria. El primer análisis realizado reveló que el

sensor HS1101 entregó valores de humedad muy por debajo de los valores reales (verificados en la página web de la Dirección Meteorológica de Chile). Además de lo anterior, los circuitos internos del equipo comenzaron a humedecerse debido a las perforaciones hechas en el contenedor, por otro lado, el sensor de luz estaba ubicado muy cerca de los LED de advertencia, por lo que estos últimos al iluminarse incrementaban el valor leído por el sensor LDR.

5.1.5. Refinamientos

Si bien el equipo durante los primeros días resistió de buena manera las condiciones dentro de los invernaderos, hubo algunos problemas en cuanto a su funcionamiento y sus componentes, suscitando los siguientes refinamientos.

Refinamiento	Descripción
Cambio del sensor de humedad	Fue necesario cambiar el sensor HS1101 debido a que entregó valores de humedad muy por debajo de la medida real.
Cambio del gabinete	Fue necesario cambiar la estructura del contenedor, debido a que los circuitos internos se humedecieron por la entrada de agua.
Sensores externos	Se hizo necesaria la integración de sensores que midieran las condiciones de temperatura y humedad fuera de los invernaderos para compararlos con los valores internos.
Pantalla LCD	Fue crucial la integración de una pantalla LCD, debido a que los usuarios no podían ver los valores registrados por los sensores.
LED de lectura	Se debió agregar un LED de lectura, indicando cuando el equipo estuviera registrando y almacenando los datos de forma correcta.
Exteriorización	Al estar dentro de los invernaderos, los usuarios debían entrar a la estructura para recuperar los datos o visualizar las luces de advertencia, en este sentido, fue necesario buscar la forma de que el equipo se encontrara fuera de los invernaderos para facilitar su uso.

Tabla 8: Lista de refinamientos, prototipo 1.

5.2. Prototipo 2

Ya con un escenario más claro sobre el funcionamiento y las características que debía cumplir el equipo, se procedió a la construcción del segundo prototipo. Este debía contener los refinamientos del primer prototipo, por lo tanto debía permitir la medición de las condiciones de temperatura y humedad tanto internas como externas de los invernaderos, estar contenido en una estructura hermética que soportara la intemperie para ser colocado fuera de los invernaderos, y poseer una pantalla para mostrar los datos registrados.

5.2.1. Planeación previa

Dadas las características requeridas en este prototipo, éste fue dividido en cinco módulos. Los cuatro primeros corresponden a los ya determinados en el primer prototipo, más un nuevo módulo de información. A continuación se presentan los requerimientos técnicos del segundo prototipo desde la perspectiva Top-Down.

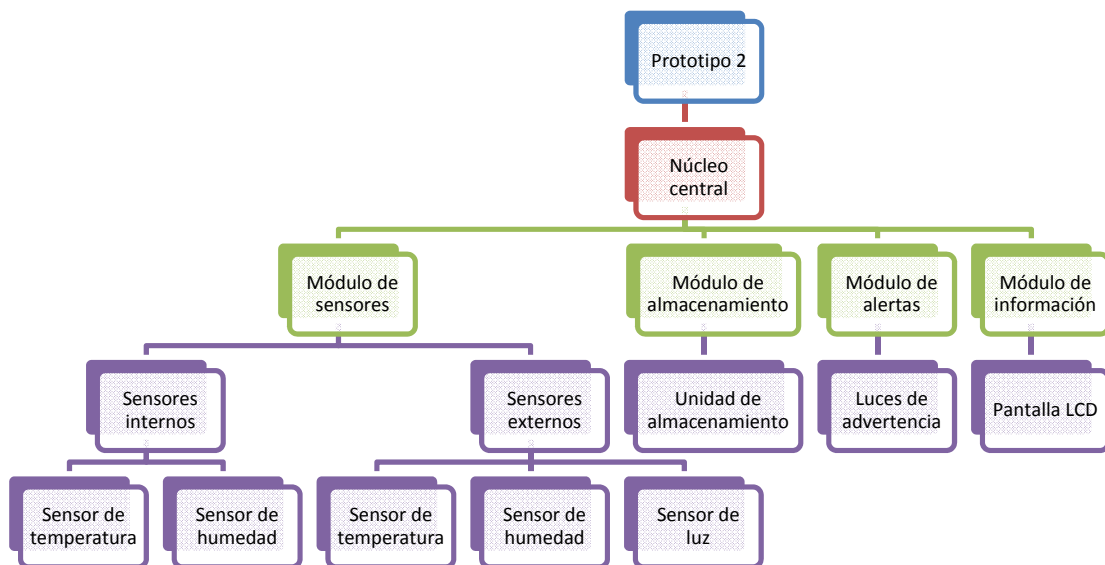


Figura 21: Visión Top-Down del prototipo 2.

En el esquema se pueden observar los distintos módulos y los componentes requeridos. A continuación se describe cada uno de los módulos identificando las modificaciones respecto al primer prototipo.

- **Núcleo central:** El núcleo principal cumple la misma función que en el primer prototipo, es decir, se encarga de coordinar el funcionamiento del equipo e integra todos los módulos.
- **Módulo de sensores:** Este módulo ha sido modificado, separándose en dos grupos de sensores; Sensores Internos y Sensores Externos. Los primeros registran las condiciones de temperatura y humedad dentro de los invernaderos, y los segundos se encargan de registrar las condiciones de temperatura y humedad fuera de estos.
- **Módulo de almacenamiento:** Cumple las mismas características que en el prototipo anterior.
- **Módulo de alertas:** En el nuevo prototipo, agrupa los LED de advertencia en un panel, donde aparte de informar cuando la temperatura y/o humedad superen los umbrales normales, también informa sobre los momentos de medición.
- **Módulo de información:** Este nuevo módulo se encarga de la salida de información por medio de la pantalla LCD.

5.2.2. Diseño rápido

A continuación se detallan los componentes utilizados en cada uno de los módulos, describiendo el reemplazo de algunos componentes del primer prototipo y la integración de nuevas piezas electrónicas.

5.2.2.1. Módulo de sensores

En cuanto al sensor de luz, se siguió utilizando el sensor LDR, ya que cumplió correctamente las tareas requeridas en el equipo anterior.

Por otro lado, para el registro de la temperatura y humedad interna se necesitó un sensor muy preciso, debido a que estas condiciones gatillan las alertas por medio de las luces de advertencia. Dado lo anterior, se optó por sustituir los sensores ZX-Thermometer y HS1101 interiores por el sensor SHT15. Este sensor es desarrollado por la empresa Sensirion⁷ y viene calibrado de fábrica, ofreciendo una alta precisión

⁷ Sitio web oficial: <http://www.sensirion.com/en/home/>.

y estabilidad a largo plazo. La tecnología digital CMOSens integra dos sensores y circuitería de lectura en un único chip, lo que permite medir la temperatura y humedad con el mismo dispositivo. El rango de operación indicado para la humedad relativa es de 0 a 100% con una precisión absoluta de $\pm 0,1\%$, y en el caso de la temperatura, el rango de operación indicado es entre -40 a 125°C , con una precisión absoluta de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$.



Figura 22: Sensor SHT15 encargado de medir las condiciones internas de temperatura y humedad, prototipo 2.

Para la medición de las condiciones externas, se usó el sensor ZX-Thermometer para obtener el valor de temperatura y el sensor de humedad HIH4030. Este último es un sensor análogo cuyo rango de medición va desde 0 a 100%, con una precisión de $\pm 3,5\%$.



Figura 23: Sensor de humedad HIH4030 encargado de medir la humedad fuera de los invernaderos, prototipo 2.

5.2.2.2. Módulo de almacenamiento

Al igual que en el primer prototipo, para las tareas del registro de información entre Arduino y la unidad de almacenamiento se utilizó el Arduino Logger Shield, sin embargo, el contenido de los archivos fue modificado, distribuyendo la información de la siguiente forma:

- **Columna 1:** Fecha.
- **Columna 2:** Hora.
- **Columna 3:** Temperatura interna.
- **Columna 4:** Humedad interna.
- **Columna 5:** Temperatura externa.
- **Columna 6:** Humedad externa.
- **Columna 7:** Luminosidad externa.

5.2.2.3. Módulo de Alertas

Se mantuvieron las luces de advertencia implementadas en el primer prototipo, sin embargo, se agregó un nuevo LED, el cual cumple la siguiente tarea.

- **LED amarillo:** Indica los momentos de medición, se enciende cuando el equipo recoge los datos, y se apaga cuando estos son almacenados. Esto ocurre en un intervalo de tiempo predefinido en el equipo.

Además de lo anterior, las luces fueron agrupadas, naciendo el concepto de “panel LED”.

5.2.2.4. Módulo de información

Éste nuevo módulo se encarga de mostrar la información de las condiciones de temperatura y humedad tanto internas como externas por medio de una pantalla LCD. En cuanto a este último componente, se utilizó un LCD básico de 16 caracteres y 2 líneas. Utiliza un chipset de interface paralela HD44780 para su funcionamiento. Su conexión a Arduino requiere de aproximadamente 11 pines digitales, sin embargo, además de la pantalla se adquirió otro componente llamado Serial LCD Backpack V2, dispositivo que trabaja con este tipo de LCD que utilizan el driver HD4480 transformando el canal de comunicación al protocolo serial TTL o RS232, permitiendo el uso de un solo pin para el traspaso de información desde Arduino a la pantalla, incluso permite el control del contraste y la configuración a distintas velocidades de comunicación serial (2400, 4800, 9600, 14400, etc).

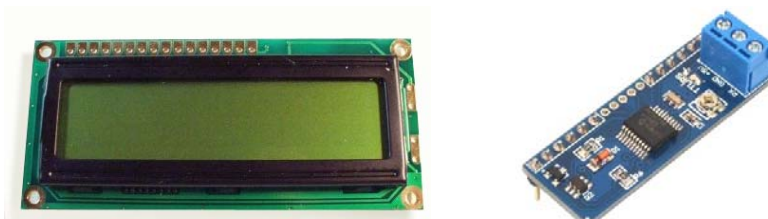


Figura 24: Pantalla LCD de 16x2 caracteres (izquierda) y Serial LCD Backpack V2 (derecha), prototipo 2.

5.2.2.5. Núcleo central

Para la elección de la placa Arduino se tuvo en consideración nuevamente la cantidad de componentes y conexiones (pines) requeridos por cada uno.

Componente	Cantidad	Número de conexiones		
		Análogas	Digitales	Puertos seriales
SHT15	1	0	2	0
ZX- Thermometer	1	1	0	0
HIH4030	1	1	0	0
LDR	1	1	0	0
Arduino Logger Shield	1	2	5	0
Luces LED	3	0	3	0
Pantalla LCD + Serial Backpack V2	1	0	0	1
Total de conexiones requeridas		5	10	1

Tabla 9: Componentes y número de conexiones prototipo 2.

Dada la tabla anterior, para la construcción de este prototipo se requirieron por lo menos 5 conexiones análogas, 10 conexiones digitales y una conexión serial. Como Arduino Uno ya había entregado buenos resultados en el primer prototipo y además se ajustaba nuevamente a los requerimientos de conexiones, dicha placa fue usada como núcleo central de este prototipo.

5.2.3. Construcción del prototipo

Dada la visión Top-Down de las especificaciones técnicas, y los componentes seleccionados, se determinaron las conexiones necesarias entre los distintos módulos (ahora circuitos) del prototipo.

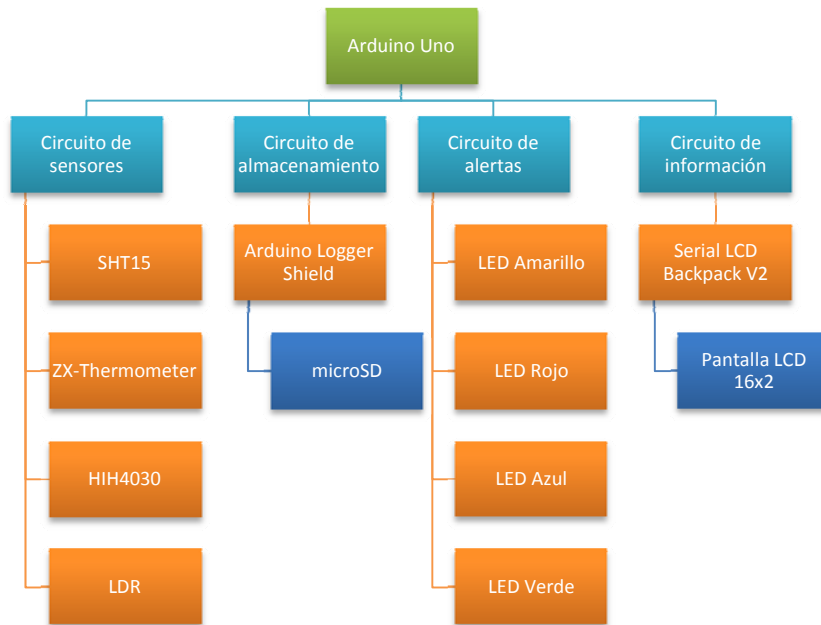


Figura 25: Esquema Top-Down de los circuitos y componentes del prototipo 2.

5.2.3.1. Circuito de sensores

Este circuito presenta las conexiones de los distintos sensores (internos y externos) encargados de obtener las medidas de temperatura, humedad y luz.

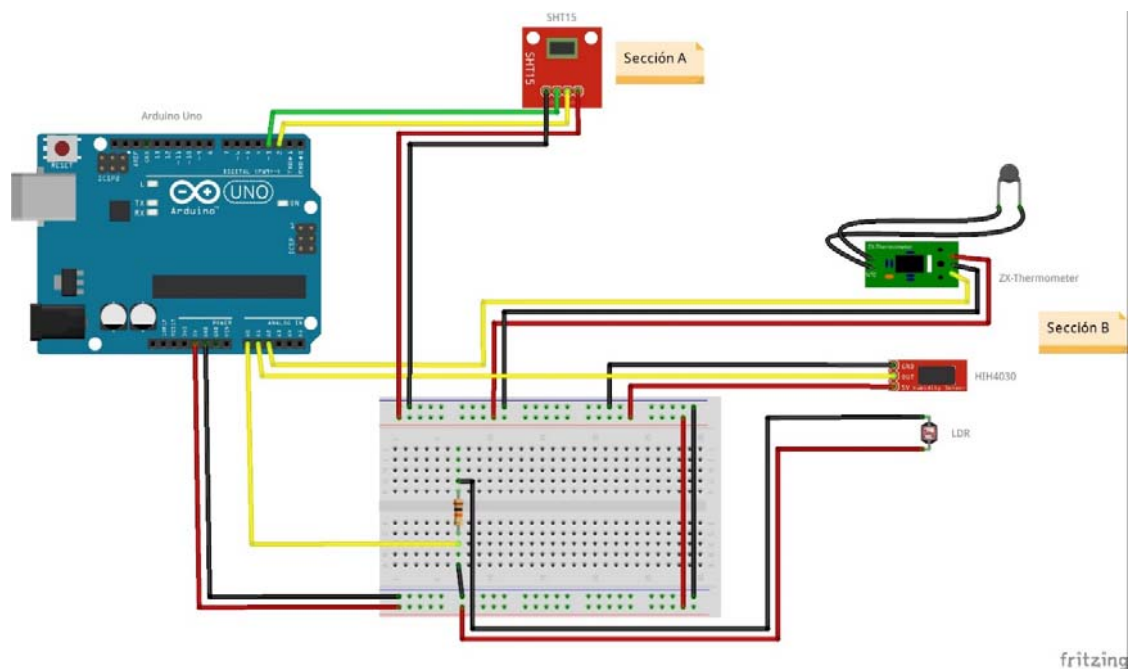


Figura 26: Circuito de sensores, prototipo 2.

En la imagen anterior se pueden observar dos secciones, las cuales se describen a continuación:

- **Sección A:** Corresponde al sensor interno SHT15, encargado de medir las condiciones de temperatura y humedad dentro de la estructura de los invernaderos.
- **Sección B:** Corresponde a los sensores externos, éstos se encargan de medir las condiciones de temperatura (ZX-Thermometer), humedad (HIH4030) y luz (LDR) fuera de la estructura de los invernaderos.

5.2.3.2. Circuito de almacenamiento

Este circuito se mantuvo igual que en el primer prototipo, sin sufrir algún tipo de alteración.

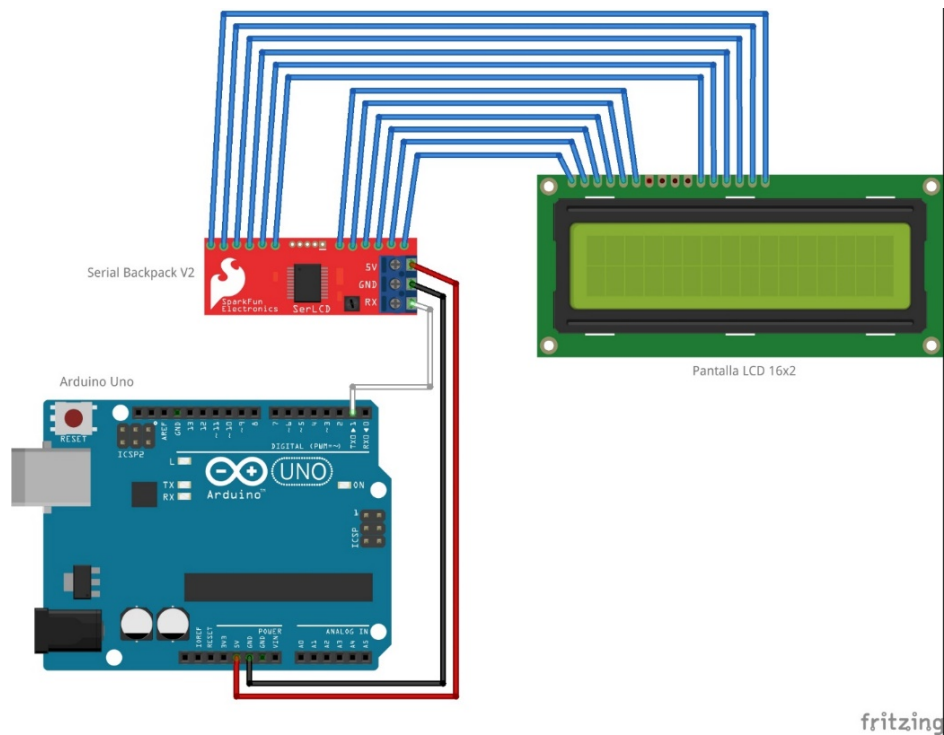


Figura 29: Circuito de información, prototipo 2.

5.2.3.5. Contenedor

Como el contenedor del primer prototipo no entregó buenos resultados debido al humedecimiento de los componentes internos, se buscó una alternativa más hermética que protegiera todos los circuitos internos del equipo, para ello se utilizó una caja estanca y un gabinete metálico, los cuales otorgaron la protección necesaria al prototipo bajo condiciones de intemperie y situaciones climáticas adversas.



Figura 30: Gabinete metálico (externo) y caja estanca (interna) para la protección del prototipo 2.

5.2.4. Evaluación

La instalación de este prototipo fuera de los invernaderos permitió que los usuarios no tuvieran la necesidad de abrir los invernaderos para ver o rescatar las mediciones del equipo. Para ello se utilizó un poste de madera enterrado a un costado de la plantación.



Figura 31: Instalación del prototipo 2.

Para medir las condiciones internas, fue necesario extender el sensor dentro de la estructura, dicha extensión se prolongó aproximadamente 50 metros hasta llegar al

punto central de los invernaderos. La altura a la cual se colocó el sensor fue de aproximadamente 2 metros desde el suelo.



Figura 32: Sensor SHT15 extendido 50 metros dentro de la estructura de los invernaderos.

Los sensores externos fueron ubicados bajo el contenedor, protegidos por una mini caja estanca.



Figura 33: Posicionamiento de los sensores externos, prototipo 2.

Por otro lado, este nuevo prototipo contó con un panel LED y una pantalla LCD para advertir cuando las condiciones de temperatura y/o humedad superaran los rangos normales, y para mostrar la información registrada por los sensores.



Figura 34: Panel LED (superior) y pantalla LCD (inferior), prototipo 2.

En la pantalla, la fila “I” corresponde a las condiciones de temperatura y humedad internas, y la fila “E” corresponde a las condiciones de temperatura y humedad externas.

Este prototipo se dejó funcionando por aproximadamente dos meses, recogiendo la información registrada una vez a la semana. Cabe destacar que el tiempo de funcionamiento no fue ininterrumpido, ya que durante los dos meses mencionados se realizaron mantenimientos sobre el equipo que obligaron su desconexión, también pudieron existir cortes de luz que detuvieran las lecturas, entre otras situaciones.



Figura 35: Prototipo 2 funcionando a un costado de los invernaderos.

5.2.5. Refinamientos

Cabe destacar que el contenedor compuesto del gabinete metálico y la caja estanca, resistió de muy buena manera las condiciones climáticas adversas como lluvia o niebla, por lo que no se produjo daño alguno sobre los circuitos del equipo. Además, la extensión del sensor interno no presentó fallas, por lo que la distancia no influyó negativamente en la transmisión de los datos. Sin embargo, dado el análisis realizado sobre el equipo, se determinaron los siguientes refinamientos.

Refinamiento	Descripción
Cambio del sensor de humedad externo	El sensor utilizado en este prototipo para medir la humedad externa entregó valores por sobre el 100%, siendo necesario su reemplazo.
Envío de alertas	Si bien el panel LED informaba de manera fácil los momentos en que las condiciones superaban los umbrales normales, los usuarios no siempre podían ir a ver el equipo para darse cuenta de dicha situación, por este motivo se hizo necesaria la implementación de un sistema de alertas que informara cuando

	las condiciones climáticas fueran adversas sin que el usuario tuviera que manipular el equipo.
Teclado*	Este prototipo no permitía la interacción entre el usuario y el equipo, por lo que los valores de los umbrales y los intervalos de medición no podían ser configurados, siendo necesaria la incorporación de un teclado que permitiera al usuario ingresar y modificar información en el equipo.
Incorporación de sensores	Si bien las condiciones estudiadas en este proyecto se basan en las medidas de temperatura y humedad ambientales, se debieron agregar nuevos sensores para la medición de otros factores importantes en el desarrollo de los productos como por ejemplo la temperatura y humedad del suelo.
Puntos de conexión	En términos de traslado, cada vez que se necesitaba trasladar o reemplazar algún componente del equipo fue necesario abrirlo para desconectar dicho componente, frente a eso se hizo necesaria la implementación de puntos de conexión que permitieran el rápido reemplazo de los componentes sin tener que desmontar todo el prototipo.

Tabla 10: Lista de refinamientos, prototipo 2.

(*) Los agricultores suelen trabajar con técnicos, agrónomos o gente especializada en el ámbito agrícola, por lo que la incorporación de un teclado busca darle un valor agregado al equipo de forma que facilite la configuración de parámetros de interés como los umbrales de temperatura y humedad, y el intervalo de medición.

5.3. Prototipo 3

Luego de evaluar el segundo prototipo y sus componentes, se procedió a construir el tercer prototipo el cual debía contener todos los refinamientos del equipo anterior. Un punto crucial en el desarrollo de este prototipo fue la implementación de alertas tempranas. La comunicación juega un rol muy importante en la generación de las alertas tempranas. Como los usuarios no tienen grandes conocimientos de informática y no utilizan aparatos tecnológicos como computadores y/o smartphones hubo que buscar una solución que se ajustara a esta situación. Se comprobó que los

agricultores normalmente usan celulares para comunicarse con los trabajadores o para comercializar sus productos, por esta razón este prototipo implementó el envío de SMS como medio de información sobre las condiciones ambientales de los invernaderos, y cuando éstas superaron los umbrales normales.

5.3.1. Planeación previa

Dadas las características requeridas en este prototipo, éste fue dividido en cinco módulos. A continuación se presentan los requerimientos técnicos del tercer prototipo desde la perspectiva Top-Down.

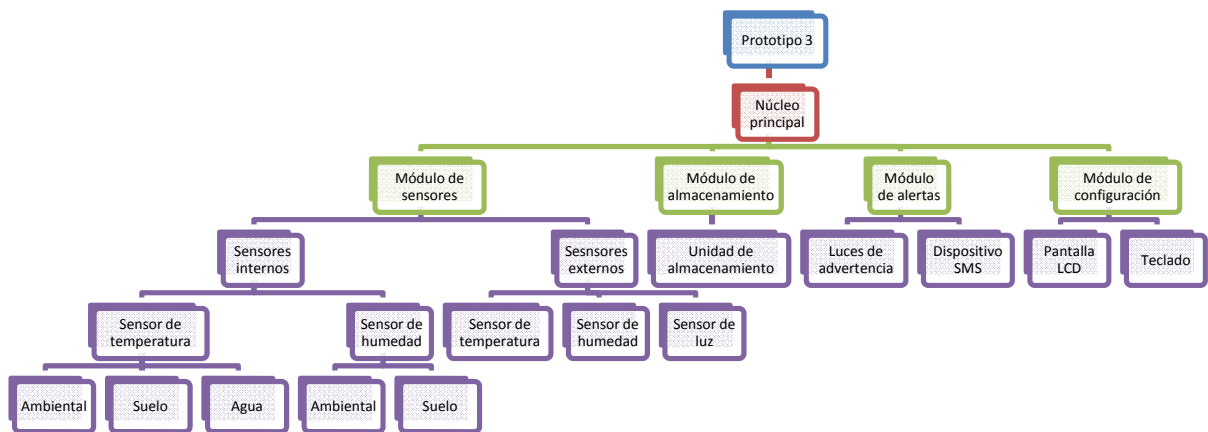


Figura 36: Visión Top-Down del prototipo 3.

En el esquema se pueden observar los distintos módulos requeridos para este prototipo. A continuación se describe cada uno de ellos.

- **Núcleo principal:** El núcleo principal cumple la misma función que en los prototipos anteriores, es decir, se encarga de coordinar el funcionamiento del equipo e integra todos los módulos del prototipo.
- **Módulo de sensores:** Este módulo ha sido modificado, incorporando nuevos sensores. Este prototipo aparte de medir las condiciones internas y externas de temperatura y humedad ambiental, también medirá la temperatura y humedad del suelo, además de la temperatura del agua que circula por las mangueras de riego dentro de los invernaderos.

- **Módulo de almacenamiento:** Cumple las mismas características que en el prototipo 1 y 2.
- **Módulo de alertas:** Este nuevo prototipo aparte del panel LED creado en el segundo equipo, debió contener un dispositivo capaz de enviar alertas por medio de mensajes de texto cuando las condiciones dentro de los invernaderos sean desfavorables.
- **Módulo de configuración:** Este módulo es una adaptación del módulo de informaciones del segundo prototipo. Al contar con un teclado, el usuario podrá interactuar con el equipo, pudiendo configurar valores como los umbrales máximos de temperatura y humedad, intervalo de medición, entre otros parámetros.

5.3.2. Diseño rápido

A continuación se detallan los componentes utilizados en cada uno de los módulos, describiendo el reemplazo de algunos componentes del segundo equipo y la integración de nuevos recursos.

5.3.2.1. Módulo de sensores

En este prototipo al igual que en las versiones anteriores se siguió utilizando el sensor LDR como componente principal para obtener la condición de luminosidad fuera de los invernaderos y controlar el funcionamiento del equipo durante el día.

En el segundo equipo, el sensor SHT15 mostró un muy buen comportamiento y desempeño, por lo que en esta versión se mantuvo como sensor para la lectura de las condiciones de temperatura y humedad dentro de los invernaderos. Por otro lado, en cuando a los sensores externos, como el sensor HIH4030 entregó valores de humedad erróneos (sobre el 100%) se optó por la utilización de un nuevo sensor SHT15 para medir las condiciones fuera de los invernaderos.

Además de los sensores anteriores, este prototipo contempló la medición de la temperatura del suelo y el agua que circula por las mangueras del riego por goteo, por lo que se hizo necesaria la utilización de un sensor resistente al agua y que pudiera ser enterrado. Frente a lo anterior, se determinó el uso del sensor ZX-

Thermometer para dichas tareas. Este sensor presenta una mejor precisión en comparación a otros que también pueden ser enterrados (como por ejemplo el sensor digital DS18B20, que además necesitaba de un circuito adicional para su funcionamiento), el sensor está recubierto con resina epoxi resistente al agua, por lo que puede ser colocado lejos del equipo, enterrado o sumergido sin afectar su funcionamiento.

Finalmente, para medir la humedad del suelo se usó el sensor SEN92355P. Este sensor es capaz de detectar cuando existe presencia de líquidos a su alrededor. Es un sensor capacitivo del tipo FDR (Frequency Domain Reflectometry, por sus siglas en inglés) que mide la constante dieléctrica o permitividad del suelo para calcular su contenido de humedad. En este sentido, la fracción volumétrica del suelo ocupada por agua tiene una enorme influencia en la permitividad dieléctrica del suelo ya que su valor dieléctrico es superior al de los otros constituyentes, por este motivo, cuando el contenido de agua varía, el sensor detecta y mide esta variación relacionándola directamente con el cambio en el contenido de agua en el suelo. En términos simples, el sensor consiste en dos placas separadas entre sí por una distancia determinada. Ambas placas están recubiertas de una capa de material conductor. Si existe humedad en el suelo se creará un puente entre una punta y otra, lo que será detectado por un circuito de control con un amplificador operacional que transforma la conductividad registrada en un valor analógico que es leído por el núcleo central.

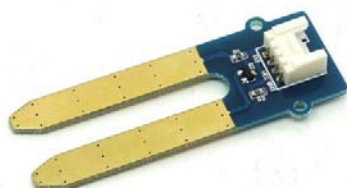


Figura 37: Sensor SEN92355P encargado de obtener la humedad del suelo, prototipo 3.

5.3.2.2. Módulo de almacenamiento

Al igual que en los prototipos anteriores, para las tareas del registro de información entre Arduino y la unidad de almacenamiento se utilizó el Arduino Logger Shield, sin

embargo, el contenido de los archivos fue modificado, distribuyendo la información de la siguiente forma.

- **Columna 1:** Fecha.
- **Columna 2:** Hora.
- **Columna 3:** Temperatura interna.
- **Columna 4:** Humedad interna.
- **Columna 5:** Temperatura externa.
- **Columna 6:** Humedad externa.
- **Columna 7:** Temperatura suelo.
- **Columna 8:** Humedad suelo.
- **Columna 9:** Temperatura agua.
- **Columna 10:** Luminosidad.

5.3.2.3. Módulo de alertas

El panel LED generado en el prototipo anterior se mantuvo con la misma estructura. Por otro lado, este prototipo implementó un sistema de alertas tempranas, para ello se analizaron dos módulos GSM, el R-GM862-G4 y el módulo GPRSBe. En términos económicos, el primero cuesta prácticamente el doble que el segundo, si bien el aspecto económico era un punto a considerar, el R-GM862-G4 debe estar siempre acoplado a la placa Arduino por medio del Arduino GM862 Shield, en pruebas previas a la instalación del equipo, se comprobó que dicho módulo presentó interferencias con el gabinete metálico que protegía al prototipo. Por su parte el módulo GPRSBe pudo ser colocado fuera del gabinete, ya que su alimentación no depende directamente de Arduino, debido a que posee un conector propio. Este componente entrega conectividad GPRS y GSM a la placa Arduino. Cumple con la función de pasar desde una comunicación serial a GPRS/GSM usando los mismos pines que los Xbee, permitiendo la realización de llamadas, envío de SMS entre otras funcionalidades. Posee un conector para antena y un socket para tarjetas SIM, para el control de esta última, su hardware integra el módem Quectel M95, lo que permite su configuración mediante comandos AT que pueden ser enviados por la puerta serial de Arduino. Para las primeras pruebas y configuraciones de este

módulo se usó una unidad XBee Explorer USB, la que provee de una conexión USB para dar acceso a los pines seriales del módulo permitiendo su programación desde un computador.



Figura 38: Módulo GPRSBee encargado del envío de las alertas tempranas, prototipo 3.

Para la conexión de este componente se utilizó el Xbee Shield. Este Shield simplifica la tarea de conectar los módulos de comunicación con las placas Arduino, siendo su objetivo el proveer de una comunicación inalámbrica entre placas u otros dispositivos (en este caso entre el núcleo principal y el celular del usuario). Los pines seriales (DIN y DOUT) del Shield están conectados a un switch SPDT, con lo que es posible escoger conectarlo a la UART (D0, D1) o a los pines digitales 2 y 3 del Arduino.



Figura 39: Xbee Shield, encargado de establecer la comunicación entre el módulo GSM y la placa Arduino, prototipo 3.

5.3.2.4. Módulo de configuración

Este módulo es una evolución del módulo de información contenido en el prototipo 2. Permite al usuario ingresar información al equipo para la modificación de parámetros

como los umbrales máximos de temperatura y humedad, el número de teléfono al que llegarán las alertas tempranas, el intervalo de medición, entre otros parámetros.

En el segundo prototipo se usó una pantalla LCD de 16x2 caracteres, en el caso de este prototipo, en las primeras pruebas con dicha pantalla la información debía ser rotada ya que la cantidad de caracteres disponibles no alcanzaba a mostrar las condiciones registradas por los nuevos sensores, dificultando su entendimiento. Frente a esto se seleccionó una pantalla de 20x4 caracteres, de esta forma se pudo mostrar toda la información sin necesidad de rotar los datos. Esta pantalla al igual que la del prototipo anterior utiliza un chipset de interface paralela HD44780 para su funcionamiento, y para su conexión a Arduino también se usó el conector Serial LCD Backpack V2.



Figura 40: Pantalla LCD de 20x4 caracteres, prototipo 3.

Por otro lado, en cuanto a los teclados analizados, existían dos opciones en el mercado que se adaptaban a las características deseadas; miniteclado y teclado de membrana. El miniteclado consiste en una serie de botones dispuestos en una matriz, en cambio, el teclado de membrana además de una disposición en forma de matriz viene con sus botones etiquetados, facilitando identificación de las teclas presionadas. Además de lo anterior, posee un adhesivo en su parte lateral, lo que posibilita su adherencia a alguna superficie para su utilización por lo que fue seleccionado como el componente para ingresar información al equipo. Este teclado está compuesto de dos láminas delgadas (membranas), con pistas conductoras en la cara interior, y una tercera membrana de separación agujereada en las

zonas en las que va cada tecla, de este modo, cuando se hace presión sobre ellas, se tocan, pasando la electricidad de una a otra, con lo cual la placa Arduino puede determinar qué tecla fue pulsada. Además del teclado, también se usó un componente sonoro llamado buzzer, el cual genera un pequeño sonido cada vez que una tecla es pulsada, de esta forma el usuario puede saber cuándo ha ingresado información al equipo.



Figura 41: Teclado de membrana, prototipo 3.

5.3.2.5. Núcleo central

Para la selección de la placa Arduino nuevamente se tuvo en consideración la cantidad de componentes y conexiones (pines) requeridos por cada uno de los componentes requeridos.

Componente	Cantidad	Número de conexiones		
		Análogas	Digitales	Puertos seriales
SHT15	2	0	4	0
ZX- Thermometer	2	2	0	0
SEN92355P	1	1	0	0
LDR	1	1	0	0
Arduino Logger Shield	1	2	5	0
Luces LED	3	0	3	0
XBee Shield	1	0	2	0
GPRSBee	1	0	0	1

Pantalla LCD (+ Serial Backpack V2)	1	0	0	1
Teclado de membrana	1	0	8	0
Buzzer	1	0	1	0
Total de conexiones requeridas		6	23	2

Tabla 11: Componentes y número de conexiones prototipo 3.

Como se puede observar, para este prototipo se necesitaron por lo menos 6 pines análogos, 23 pines digitales y 2 puertos seriales. Para el primer caso, todas las tarjetas Arduino presentan el número requerido de pines análogos, sin embargo, la mayoría no cuenta con los pines digitales necesarios para la conexión de todos los componentes, en este sentido, la placa que cumplió con los requerimientos de pines digitales necesarios fue Arduino Mega. Además de lo anterior, Arduino Mega posee 4 puertos seriales en vez de 1 como el resto de las tarjetas, lo que la hizo claramente idónea para este equipo, por lo que fue seleccionada y dispuesta como el núcleo central del prototipo.

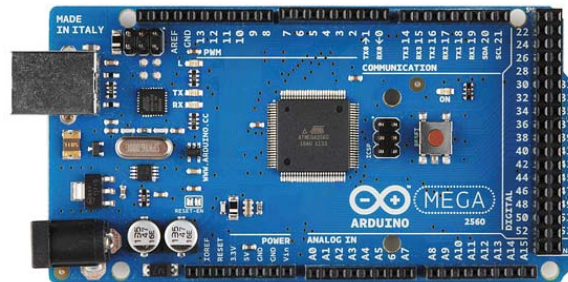


Figura 42: Arduino Mega, núcleo central del prototipo 3.

Arduino Mega es una placa basada en el microcontrolador ATmega2560. Posee 54 entradas/salidas digitales (de las cuáles 15 pueden utilizarse para salidas PWM), 16 entradas analógicas y 4 puertos seriales (UARTs). Tiene una velocidad de reloj de 16 MHz, una memoria de programa (Flash) de 256 KB, una memoria de datos (SRAM)

de 8 KB y una memoria auxiliar (EEPROM) de 4 KB, además de una conexión USB, un conector de alimentación y un botón de reinicio⁸.

5.3.3. Construcción del prototipo

Dada la visión Top-Down de las especificaciones técnicas, y los componentes seleccionados, se determinaron las conexiones necesarias entre los distintos módulos (ahora circuitos) del prototipo.

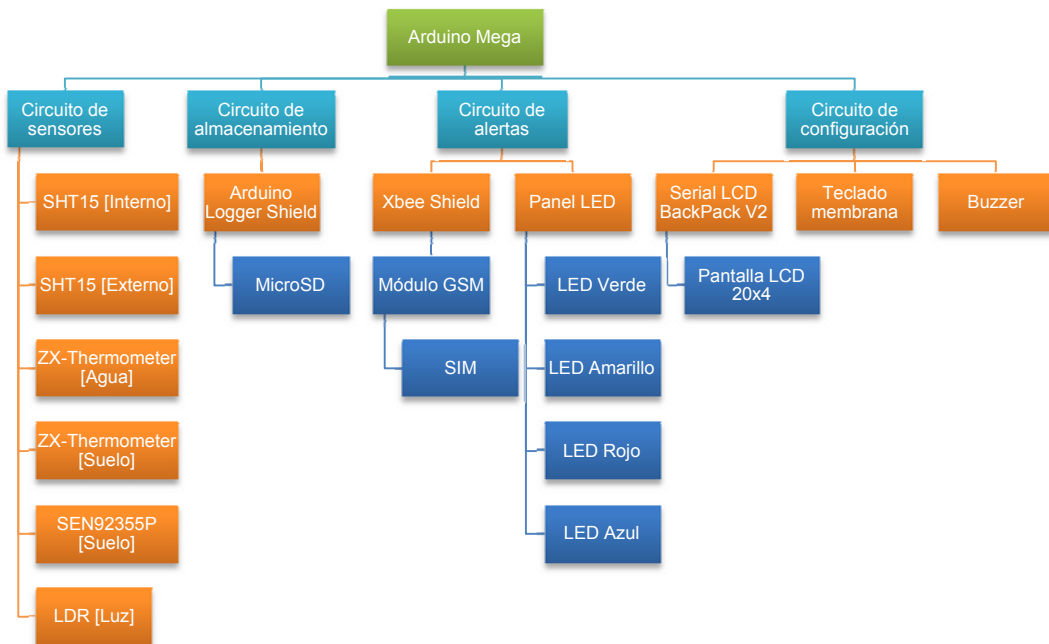


Figura 43: Esquema Top-Down de los circuitos y componentes del prototipo 3.

5.3.3.1. Circuito de sensores

Este circuito presenta las distintas conexiones de los sensores al núcleo central para obtener las medidas de temperatura y humedad ambientales (internas y externas), temperatura y humedad del suelo, temperatura del agua y luminosidad.

⁸ Más información en: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>.

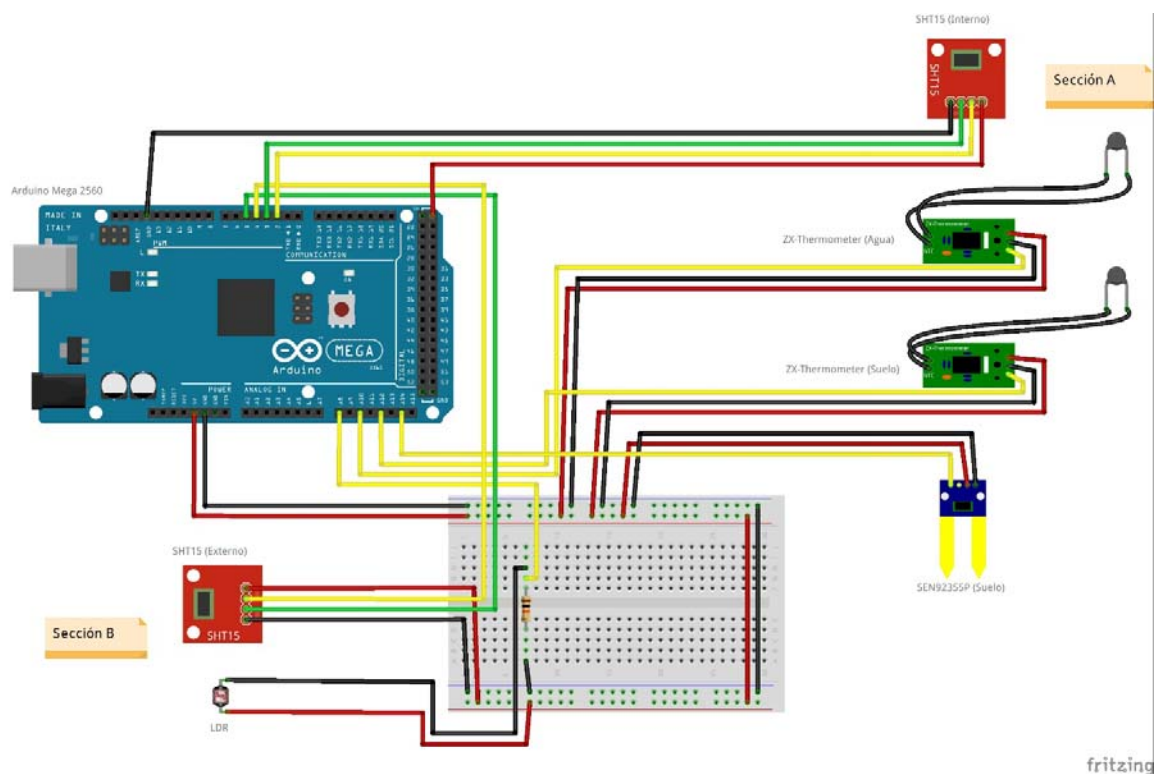


Figura 44: Circuito de sensores, prototipo 3.

En la figura se pueden observar dos secciones, las cuales se describen a continuación.

- **Sección A:** Corresponde al conjunto de sensores internos, es decir, que se encuentran físicamente dentro de la estructura de los invernaderos.
 - o **SHT15:** Mide la temperatura y humedad ambiental.
 - o **ZX-Thermometer (Agua):** Mide la temperatura del agua que circula por las mangueras de regadío.
 - o **ZX-Thermometer (Suelo):** Mide la temperatura del suelo.
 - o **SEN92355P (Suelo):** Mide la humedad del suelo.
- **Sección B:** Corresponde al conjunto de sensores externo, es decir, que se encuentran físicamente fuera de la estructura de los invernaderos.
 - o **SHT15:** Mide la temperatura y humedad ambiental.
 - o **LDR:** Mide la luminosidad.

5.3.3.2. Circuito de almacenamiento

Al cambiar el núcleo central del equipo, este circuito se vio alterado debido a que los puntos de conexión (pines) para el protocolo SPI de la nueva placa Arduino son diferentes.

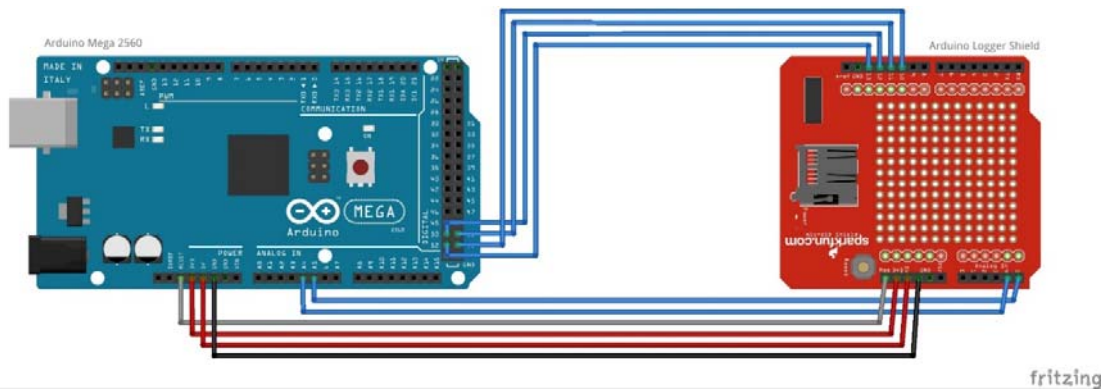


Figura 45: Circuito de almacenamiento, prototipo 3.

5.3.3.3. Circuito de alertas

Este circuito presenta las conexiones de las luces de advertencia y las conexiones con un módulo de comunicación GSM para el envío de alertas tempranas asociadas a los momentos de ventilación de los invernaderos.

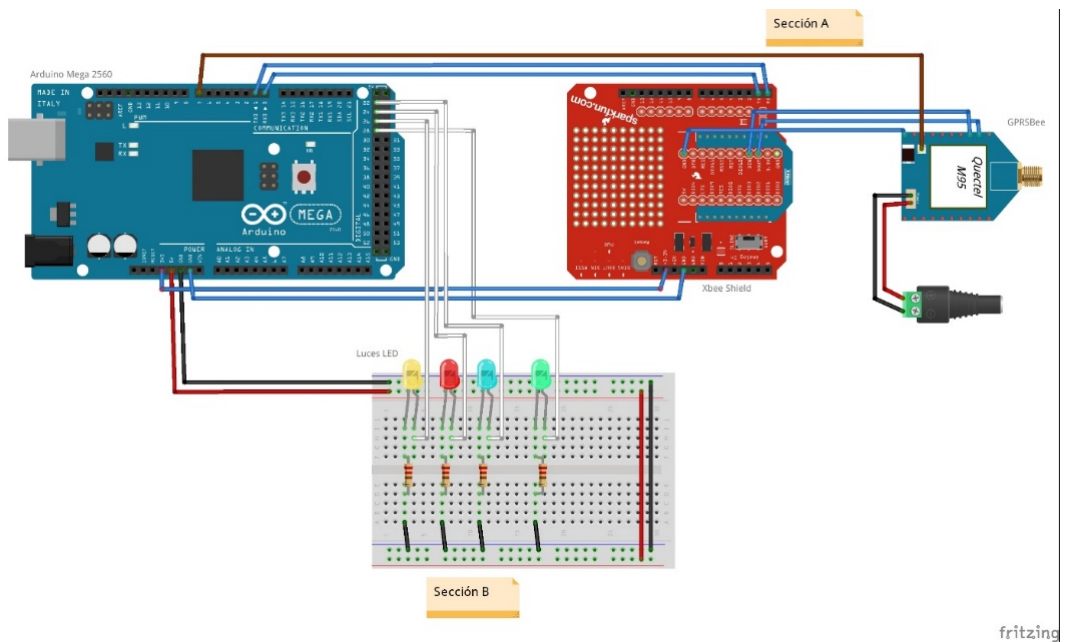


Figura 46: Circuito de alertas, prototipo 3.

En la imagen se pueden observar dos secciones, las cuales se describen a continuación.

- **Sección A:** Corresponde al XBee Shield más el módulo GPRS Bee, ambos componentes permiten el envío de las alertas tempranas mediante mensajes de texto (SMS).
- **Sección B:** Corresponde al panel LED, presenta el mismo funcionamiento que en el prototipo anterior.

5.3.3.4. Circuito de configuración

El circuito de configuración presenta las conexiones de los componentes necesarios para la visualización de las mediciones y la configuración de parámetros en el equipo.

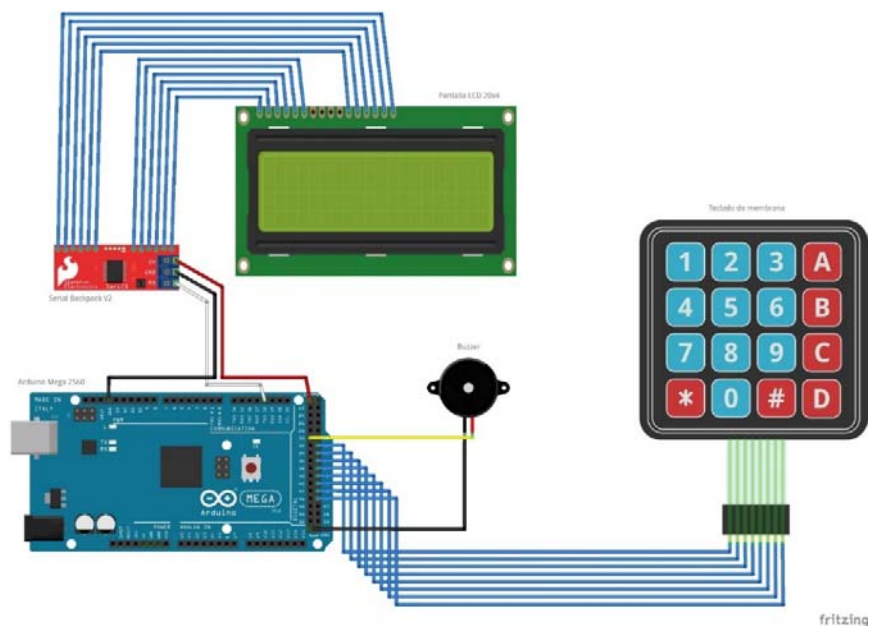


Figura 47: Circuito de configuración, prototipo 3.

5.3.3.5. Contenedor

Como el contenedor del prototipo anterior entregó buenos resultados en cuanto a la protección de los componentes y circuitos del equipo, este prototipo también emplea un gabinete metálico y una caja estanca para su protección, sin embargo, el tamaño

de ambos fue aumentado, debido a que la placa Arduino Mega utiliza más espacio en comparación a Arduino Uno, y el número de componentes aumentó.



Figura 48: Gabinete metálico (externo) y caja estanca (interna) para la protección del prototipo 3.

5.3.4. Evaluación

Este equipo también fue instalado fuera de los invernaderos, para ello se retiró el prototipo anterior remplazándolo por el actual.



Figura 49: Instalación del prototipo 3.

Para medir las condiciones internas, se usó el mismo sensor extendido del prototipo anterior. Además de esto, los nuevos sensores encargados de obtener las condiciones del agua y el suelo dentro de los invernaderos fueron extendidos aproximadamente 10 metros dentro de la estructura, a una altura aproximada de 10 centímetros.



Figura 50: Instalación de los sensores de suelo y agua, prototipo 3.

Por otro lado, los sensores externos fueron ubicados bajo el contenedor al igual que en el segundo prototipo. Además de esto, bajo el contenedor también se ubicó el módulo GSM, encargado de enviar las alertas tempranas vía SMS por medio del componente GPRSbee conectado al Xbee Shield.



Figura 51: Posicionamiento de los sensores externos (izquierda) y GPRSbee (derecha), prototipo 3.

Este prototipo conserva el panel LED del segundo equipo, sin embargo, la pantalla utilizada es más grande que la anterior, debido a que debió mostrar más información, aparte de esto, este prototipo contiene un teclado, lo que permite que el usuario ingrese información y configure parámetros del equipo.



Figura 52: Panel LED, pantalla y teclado (izquierda) y configuración de parámetros (derecha) del prototipo 3.

En la pantalla se pueden observar cuatro filas de información, donde:

- **I:** Corresponde a las condiciones de temperatura y humedad ambientales internas.
- **E:** Corresponde a las condiciones de temperatura y humedad ambientales externas.
- **S:** Corresponde a las condiciones de temperatura y humedad del suelo.
- **A:** Corresponde a la temperatura interna.

A diferencia del prototipo anterior, este diseño implementa puntos de conexión fuera del prototipo, lo que permite el reemplazo de componentes sin necesidad de abrir el equipo.



Figura 53: Puntos de conexión externos, prototipo 3.

Este prototipo se dejó funcionar parte de diciembre donde se realizaron las primeras pruebas y luego continuó su funcionamiento aproximadamente por dos meses, recogiendo la información registrada una vez a la semana. Al igual que en el segundo prototipo, cabe destacar que el funcionamiento del equipo no fue ininterrumpido, debido a mantenciones realizadas en el equipo o situaciones ajenas a este como por ejemplo cortes de luz.



Figura 54: Prototipo 3 funcionando a un costado de los invernaderos.

Este equipo corresponde al prototipo final de esta memoria de título, los refinamientos de este prototipo serán abordados en la sección “trabajo futuro” de presente informe.

5.3.5. Refinamientos

Este prototipo entregó muy buenos resultados en cuanto a estabilidad y desempeño, no obstante, surgieron los siguientes refinamientos.

Refinamiento	Descripción
Alimentación	Si bien el equipo funcionó bien, existieron días en que hubo cortes de luz, por lo que dejó de funcionar durante ese período de tiempo, para evitar esto se hizo necesario alimentar el equipo por medio de una conexión solar, de modo que no dependiera del suministro eléctrico.
Contratación de un plan SMS	Como las pruebas se hicieron con una SIM prepago, luego de un tiempo hubo que recargar el saldo del chip para seguir enviando las alertas, esto podría evitarse con la contratación de un plan para el envío de mensajes, sin embargo, es algo que se analizará

	posteriormente, debido a que es un gasto más de dinero para los agricultores.
--	---

Tabla 12: Refinamientos, prototipo 3.

6. DESARROLLO DE SOFTWARE

El desarrollo de software y todos los artefactos presentados en las secciones posteriores corresponden a la última versión del equipo (prototipo 3).

6.1. Análisis y requisitos

En esta sección se describen todas las especificaciones, atributos y consideraciones necesarias para el desarrollo del software. Es importante destacar que los requerimientos señalados a continuación representan y determinan el conjunto de todas las funcionalidades del equipo final y específicamente del software que lo controla.

6.1.1. Especificación de requerimientos

A continuación se presenta una descripción de los requerimientos del sistema, caracterizando las funciones, los atributos y la relación de ellos con el software.

6.1.1.1. Funciones del sistema

Las funciones del sistema se describen y categorizan asociándolas a las cualidades y responsabilidades del software. Dichas funciones se dividen en los siguientes grupos: Control de mediciones, almacenamiento, notificaciones, configuraciones e ingreso de datos.

1.0		Control de mediciones	
Ref. #	Función	Descripción	Categoría
R.1.1	Registrar condiciones	El sistema deberá iniciar internamente el proceso de medición de las condiciones climáticas de los invernaderos.	Ocultas
R.1.2	Obtener temperatura interna	El sistema deberá obtener la condición de temperatura ambiental al interior de los invernaderos.	Ocultas
R.1.3	Obtener humedad	El sistema deberá obtener la	Ocultas

	interna	condición de humedad ambiental al interior de los invernaderos.	
R.1.4	Obtener temperatura externa	El sistema deberá obtener la condición de temperatura ambiental al exterior de los invernaderos.	Oculto
R.1.5	Obtener humedad externa	El sistema deberá obtener la condición de humedad ambiental al exterior de los invernaderos.	Oculto
R.1.6	Obtener temperatura suelo	El sistema deberá obtener la condición de temperatura del suelo al interior de los invernaderos.	Oculto
R.1.7	Obtener humedad suelo	El sistema deberá obtener la condición de humedad del suelo al interior de los invernaderos.	Oculto
R.1.8	Obtener temperatura agua	El sistema deberá obtener la condición de temperatura del agua al interior de los invernaderos.	Oculto
R.1.9	Obtener luminosidad	El sistema deberá obtener la condición de luminosidad al exterior de los invernaderos.	Oculto
R.1.10	Registrar temperatura interna	El sistema deberá registrar temporalmente el valor de temperatura ambiental obtenido dentro de los invernaderos.	Oculto
R.1.11	Registrar humedad interna	El sistema deberá registrar temporalmente el valor de humedad ambiental obtenido dentro de los invernaderos.	Oculto
R.1.12	Registrar temperatura externa	El sistema deberá registrar temporalmente el valor de temperatura ambiental obtenido fuera de los invernaderos.	Oculto
R.1.13	Registrar humedad	El sistema deberá registrar	Oculto

	externa	temporalmente el valor de humedad ambiental obtenido fuera de los invernaderos.	
R.1.14	Registrar temperatura suelo	El sistema deberá registrar temporalmente el valor de temperatura del suelo obtenido dentro de los invernaderos.	Ocultas
R.1.15	Registrar humedad suelo	El sistema deberá registrar temporalmente el valor de humedad del suelo obtenido dentro de los invernaderos.	Ocultas
R.1.16	Registrar temperatura agua	El sistema deberá registrar temporalmente el valor de temperatura del agua dentro de los invernaderos.	Ocultas
R.1.17	Registrar luminosidad	El sistema deberá registrar temporalmente el valor de luminosidad obtenido fuera de los invernaderos.	Ocultas
R.1.18	Mostrar condiciones	El sistema deberá mostrar constantemente las condiciones registradas por el equipo.	Evidente
R.1.19	Esperar medición	El sistema deberá esperar un intervalo de tiempo entre cada medición.	Ocultas

Tabla 13: Requerimientos funcionales asociados al control de mediciones.

2.0		Almacenamiento	
Ref. #	Función	Descripción	Categoría
R.2.1	Iniciar SD	El sistema deberá confirmar la existencia de una unidad de almacenamiento para el respaldo de los datos.	Ocultas
R.2.2	Obtener fecha y	El sistema deberá obtener la fecha y	Ocultas

	hora	la hora cada vez que se almacenen los datos.	
R.2.3	Procesar datos	El sistema deberá generar una cadena de texto con los datos registrados por los sensores.	Oculto
R.2.4	Crear archivo	El sistema deberá crear un archivo en la unidad de almacenamiento para el respaldo de datos.	Oculto
R.2.5	Guardar datos	El sistema deberá almacenar los datos registrados por el equipo en una tarjeta de memoria.	Oculto
R.2.6	Cerrar archivo	El sistema deberá cerrar el archivo donde se guardaron los datos, liberando memoria del sistema.	Oculto

Tabla 14: Requerimientos funcionales relacionados al almacenamiento.

3.0		Notificaciones	
Ref. #	Función	Descripción	Categoría
R.3.1	Iniciar alertas	El sistema deberá iniciar las alertas del equipo.	Oculto
R.3.2	Encender luces de advertencia	El sistema deberá encender los LED de advertencia del equipo.	Oculto
R.3.3	Apagar luces de advertencia	El sistema deberá apagar los LED de advertencia del equipo.	Oculto
R.3.4	Notificar error	El sistema deberá mostrar una notificación cuando ocurra un error en el equipo.	Oculto
R.3.5	Iniciar módulo GSM	El sistema deberá confirmar la existencia de un módulo de comunicación GSM para el envío de las alertas vía SMS.	Oculto

R.3.6	Construir mensaje	El sistema deberá construir un mensaje de texto con la correspondiente alerta.	Oculto
R.3.7	Enviar alerta SMS	El sistema deberá enviar un SMS alertando de las condiciones internas de los invernaderos.	Oculto

Tabla 15: Requerimientos funcionales relacionados a la generación de notificaciones.

4.0 Configuraciones			
Ref. #	Función	Descripción	Categoría
R.4.1	Mostrar configuraciones	El sistema deberá mostrar al usuario las configuraciones que puede realizar al equipo.	Evidente
R.4.2	Iniciar medición	El sistema deberá mostrar la opción al usuario de comenzar el proceso de medición y salir de las configuraciones.	Evidente
R.4.3	Actualizar configuraciones	El sistema deberá actualizar las configuraciones del equipo.	Oculto
R.4.4	Cambiar teléfono	El sistema deberá dar la opción al usuario de cambiar el número de teléfono registrado en el sistema.	Evidente
R.4.5	Modificar número de teléfono	El sistema deberá actualizar el número telefónico.	Oculto
R.4.6	Ajustar intervalo de medición	El sistema deberá dar la opción al usuario de cambiar el intervalo de medición del sistema.	Evidente
R.4.7	Modificar intervalo de medición	El sistema deberá actualizar el intervalo de medición.	Oculto
R.4.8	Ajustar umbrales	El sistema deberá dar la opción al usuario de cambiar la los umbrales de temperatura y humedad del sistema.	Evidente
R.4.9	Modificar umbrales	El sistema deberá actualizar los	Oculto

	umbrales de temperatura y humedad.	
--	------------------------------------	--

Tabla 16: Requerimientos funcionales relacionados a las configuraciones.

5.0 Ingreso de datos			
Ref. #	Función	Descripción	Categoría
R.5.1	Solicitar datos	El sistema deberá solicitar datos y permitir que el usuario ingrese información cuando corresponda.	Evidente
R.5.2	Capturar datos	El sistema deberá capturar los datos ingresados por el usuario.	Evidente

Tabla 17: Requerimientos funcionales relacionados al ingreso de datos.

6.1.1.2. Atributos del sistema

A continuación se describen los atributos del sistema incluyendo las limitaciones de éstos.

ID	Atributo	Descripción	Límites
AT.1	Seguridad	Todos los datos registrados deberán ser respaldados en una unidad de memoria.	El respaldo de los datos será realizado en un intervalo de tiempo determinado (cada 60 segundos como configuración inicial).
AT.2	Consistencia	Los valores obtenidos por los sensores deberán iguales a los valores almacenados y a los mostrados por pantalla.	Los datos deberán tener un 99% de igualdad entre los valores obtenidos, los almacenados y los visualizados.
AT.3	Disponibilidad	Los datos registrados por el equipo deberán estar siempre disponibles en la unidad de almacenamiento.	Se contará al menos con una unidad de almacenamiento la cual debe permitir su fácil extracción del equipo.
AT.4	Tiempo de	Este atributo se refiere al	El tiempo empleado para

	respuesta	tiempo requerido para responder a un evento, medición o configuración.	realizar una medición, iniciar o establecer una configuración no deberá ser mayor a 10 segundos.
AT.5	Usabilidad	Implica que las acciones sobre el sistema deben ser simples, no engorrosas ni confusas.	El usuario no deberá tomarse un tiempo mayor a 60 segundos para poder interactuar con el equipo.
AT.6	Velocidad	El sistema deberá enviar rápida y oportunamente las alertas al usuario.	El sistema no deberá emplear un tiempo mayor a 60 segundos para el envío de las alertas.
AT.7	Fiabilidad	Todos los datos deberán estar en unidades de medida comprendidas y utilizadas por el usuario.	El 99% de los datos obtenidos deberán estar validados con unidades de medidas comprendidas por el usuario.

Tabla 18: Listado de atributos del sistema.

6.1.1.3. Atributos por función

A continuación se presenta el listado de atributos por funcionalidad del software, especificando los atributos que debe tener cada función según corresponda.

1.0 Control de mediciones				
Ref. #	Función	Categoría	Atributos	Detalles y limitaciones
R.1.1	Registrar condiciones	Ocultas	Tiempo de respuesta	El sistema debe iniciar internamente el proceso de medición en un tiempo no mayor a 10 segundos y comenzar a medir las condiciones internas y externas de los invernaderos.
R.1.2	Obtener	Ocultas	Tiempo de	El sistema debe medir la

	temperatura interna		respuesta, Fiabilidad		temperatura ambiental al interior de los invernaderos en un tiempo no mayor a 10 segundos y entregar los datos en unidades de medida estándar. Para ello, es obligatorio contar con un sensor de temperatura al interior de la estructura de los invernaderos.
R.1.3	Obtener humedad interna	Ocultas	Tiempo de respuesta, Fiabilidad		El sistema debe medir la humedad ambiental al interior de los invernaderos en un tiempo no mayor a 10 segundos y entregar los datos en unidades de medida estándar. Para ello, es obligatorio contar con un sensor de humedad al interior de la estructura de los invernaderos.
R.1.4	Obtener temperatura externa	Ocultas	Tiempo de respuesta, Fiabilidad		El sistema debe medir la temperatura ambiental al exterior de los invernaderos en un tiempo no mayor a 10 segundos y entregar los datos en unidades de medida estándar. Para ello, es obligatorio contar

				con un sensor de temperatura fuera de la estructura de los invernaderos.
R.1.5	Obtener humedad externa	Oculto	Tiempo de respuesta, Fiabilidad	El sistema debe medir la humedad ambiental al exterior de los invernaderos en un tiempo no mayor a 10 segundos y entregar los datos en unidades de medida estándar. Para ello, es obligatorio contar con un sensor de humedad fuera de la estructura de los invernaderos.
R.1.6	Obtener temperatura suelo	Oculto	Tiempo de respuesta, Fiabilidad	El sistema debe medir la temperatura del suelo al interior de los invernaderos en un tiempo no mayor a 10 segundos y entregar los datos en unidades de medida estándar. Para ello, es obligatorio contar con un sensor de temperatura enterrado al interior de la estructura de los invernaderos.
R.1.7	Obtener humedad suelo	Oculto	Tiempo de respuesta, Fiabilidad	El sistema debe medir la humedad del suelo al interior de los invernaderos en un

				tiempo no mayor a 10 segundos y entregar los datos en unidades de medida estándar. Para ello, es obligatorio contar con un sensor de humedad enterrado al interior de la estructura de los invernaderos.
R.1.8	Obtener temperatura agua	Oculto	Tiempo de respuesta, Fiabilidad	El sistema debe medir la temperatura del agua de las mangueras al interior de los invernaderos en un tiempo no mayor a 10 segundos y entregar los datos en unidades de medida estándar. Para ello, es obligatorio contar con un sensor de temperatura al interior de las mangueras de regadío dentro de la estructura de los invernaderos.
R.1.9	Obtener luminosidad	Oculto	Tiempo de respuesta, Fiabilidad	El sistema debe medir la luminosidad al exterior de los invernaderos en un tiempo no mayor a 10 segundos y entregar los datos en unidades de medida estándar. Para ello, es obligatorio contar con un sensor de luz al exterior de la estructura

				de los invernaderos.
R.1.10	Registrar temperatura interna	Oculto	Consistencia	El sistema debe registrar temporalmente el valor de temperatura ambiental obtenido dentro de los invernaderos, dicho valor debe ser igual al obtenido por el respectivo sensor.
R.1.11	Registrar humedad interna	Oculto	Consistencia	El sistema debe registrar temporalmente el valor de humedad ambiental obtenido dentro de los invernaderos, dicho valor debe ser igual al obtenido por el respectivo sensor.
R.1.12	Registrar temperatura externa	Oculto	Consistencia	El sistema debe registrar temporalmente el valor de temperatura ambiental obtenido fuera de los invernaderos, dicho valor debe ser igual al obtenido por el respectivo sensor.
R.1.13	Registrar humedad externa	Oculto	Consistencia	El sistema debe registrar temporalmente el valor de humedad ambiental obtenido fuera de los invernaderos, dicho valor debe ser igual al obtenido por el respectivo sensor.

R.1.14	Registrar temperatura suelo	Oculto	Consistencia	El sistema debe registrar temporalmente el valor de temperatura del suelo obtenido dentro de los invernaderos, dicho valor debe ser igual al obtenido por el respectivo sensor.
R.1.15	Registrar humedad suelo	Oculto	Consistencia	El sistema debe registrar temporalmente el valor de humedad del suelo obtenido dentro de los invernaderos, dicho valor debe ser igual al obtenido por el respectivo sensor.
R.1.16	Registrar temperatura agua	Oculto	Consistencia	El sistema debe registrar temporalmente el valor de temperatura del agua de las mangueras de regadío obtenido dentro de los invernaderos, dicho valor debe ser igual al obtenido por el respectivo sensor.
R.1.17	Registrar luminosidad	Oculto	Consistencia	El sistema debe registrar temporalmente el valor de luminosidad obtenido fuera de los invernaderos, dicho valor debe ser igual al obtenido por el respectivo sensor.
R.1.18	Mostrar condiciones	Evidente	Consistencia,	El sistema debe mostrar

			Fiabilidad	constantemente las condiciones registradas por el equipo. Las condiciones mostradas deben ser iguales a los valores obtenidos por los sensores y estar validadas con unidades de medidas comprendidas por el usuario.
R.1.19	Esperar medición	Ocultas	Tiempo de respuesta	El sistema debe esperar un intervalo de tiempo entre cada medición. Luego de esta espera, el tiempo empleado para realizar una nueva medición no debe ser mayor a 10 segundos.

2.0 Almacenamiento				
Ref. #	Función	Categoría	Atributos	Detalles y limitaciones
R.2.1	Iniciar SD	Ocultas	Seguridad	El sistema debe confirmar la existencia de una unidad de almacenamiento, de esta forma se asegura que todos los datos registrados sean correctamente respaldados. De no haber una unidad de almacenamiento, el

				sistema se detendrá hasta que exista una.
R.2.2	Obtener fecha y hora	Oculto	Tiempo de respuesta	El sistema deberá obtener la fecha y la hora cada vez que se almacenen los datos en un tiempo menor a 5 segundos. Debe existir obligatoriamente un RTC conectado al equipo.
R.2.3	Procesar datos	Oculto	Consistencia	El sistema debe generar una cadena de texto con los datos de las condiciones internas y externas. El texto generado debe contener las mismas medidas obtenidas por los sensores. El formato del procesamiento de datos siempre será un formato abierto correspondiente al tipo CSV.
R.2.4	Crear archivo	Oculto	Seguridad	El sistema debe crear un archivo en la unidad de almacenamiento para el respaldo de los datos. De esta forma los registros serán respaldados en la unidad de almacenamiento. Debe existir obligatoriamente una unidad de almacenamiento

				conectada al equipo.
R.2.5	Guardar datos	Oculto	Seguridad, Consistencia, Disponibilidad	El sistema debe almacenar los datos registrados en una unidad de memoria, asegurando el respaldo de estos, además, los datos registrados deben ser los mismos que los obtenidos por los sensores. De esta forma todos los registros estarán siempre disponibles en la unidad de almacenamiento. De existir obligatoriamente una unidad de almacenamiento conectada al equipo.
R.2.6	Cerrar archivo	Oculto	Seguridad	El sistema debe cerrar el archivo donde se guardaron los datos, liberando memoria del sistema. De esta forma el sistema se asegura que los datos fueron respaldados en la unidad de almacenamiento.

3.0	Notificaciones			
Ref.	Función	Categoría	Atributos	Detalles y limitaciones

#				
R.3.1	Iniciar alertas	Ocultas	Tiempo de respuesta	El sistema debe iniciar las alertas del equipo. El inicio de las alertas no debe tomar un tiempo mayor a 10 segundos.
R.3.2	Encender luces de advertencia	Ocultas	Tiempo de respuesta	El sistema debe encender los LED de advertencia del equipo. El encendido de los LED de advertencia no debe tomar un tiempo mayor a 10 segundos.
R.3.3	Apagar luces de advertencia	Ocultas	Tiempo de respuesta	El sistema debe apagar los LED de advertencia del equipo. El apagado de los LED de advertencia no debe tomar un tiempo mayor a 10 segundos.
R.3.4	Notificar error	Ocultas	Tiempo de respuesta	El sistema debe mostrar una notificación cuando ocurra un error en el equipo. La notificación de error no debe tomar un tiempo mayor a 10 segundos.
R.3.5	Iniciar módulo GSM	Ocultas	Tiempo de respuesta	El sistema debe confirmar la existencia de un módulo de comunicación GSM para el envío de las alertas vía SMS. La confirmación de este

				valor no debe tomar un tiempo mayor a 10 segundos
R.3.6	Construir mensaje	Oculto	Consistencia, Fiabilidad	El sistema debe construir un mensaje de texto con la correspondiente alerta. Los valores agregados al mensaje deben ser iguales a los valores obtenidos por los sensores, además dichos valores deben estar en unidades de medidas comprendidas por el usuario.
R.3.7	Enviar alerta SMS	Oculto	Velocidad, Consistencia, Fiabilidad	El sistema debe enviar un SMS alertando de las condiciones internas de los invernaderos. El sistema no debe emplear un tiempo mayor a 60 segundos para el envío de la alerta. Los datos enviados deben ser iguales a los valores obtenidos por los sensores, además dichos valores deben estar en unidades de medidas comprendidas por el usuario.

4.0		Configuraciones		
Ref. #	Función	Categoría	Atributos	Detalles y limitaciones
R.4.1	Mostrar configuraciones	Evidente	Tiempo de respuesta, Usabilidad	El sistema debe mostrar al usuario las configuraciones que puede realizar al equipo. El tiempo empleado en mostrar las configuraciones disponibles no debe ser mayor a 10 segundos, por otro lado, el usuario no debe tomarse un tiempo mayor a 60 segundos para interactuar con el equipo y poder realizar una configuración.
R.4.2	Iniciar medición	Evidente	Usabilidad	El sistema debe dar la opción al usuario de comenzar el proceso de medición. El usuario no debe emplear un tiempo mayor a 60 segundos para interactuar con el equipo. Es obligatorio contar con un teclado donde el usuario pueda ingresar los datos solicitados por el equipo.
R.4.3	Actualizar configuraciones	Ocultas	Tiempo de respuesta	El sistema debe actualizar las configuraciones del

				equipo. La actualización de las configuraciones no debe emplear un tiempo mayor a 10 segundos.
R.4.4	Cambiar teléfono	Evidente	Usabilidad	El sistema debe dar la opción al usuario de cambiar el número de teléfono registrado en el sistema. El usuario no debe emplear un tiempo mayor a 60 segundos para interactuar con el equipo. Es obligatorio contar con un teclado donde el usuario pueda ingresar los datos solicitados por el equipo.
R.4.5	Modificar número de teléfono	Oculto	Tiempo de respuesta	El sistema debe actualizar el número telefónico. La edición de este valor no debe tomar un tiempo mayor a 10 segundos. Para ello se debe contar obligatoriamente con un número telefónico válido y activo, sino, las notificaciones del sistema no serán recibidas correctamente.
R.4.6	Ajustar intervalo de medición	Evidente	Usabilidad	El sistema debe dar la opción al usuario de cambiar el intervalo de

				medición del sistema. El usuario no debe emplear un tiempo mayor a 60 segundos para interactuar con el equipo. Es obligatorio contar con un teclado donde el usuario pueda ingresar los datos solicitados por el equipo.
R.4.7	Modificar intervalo de medición	Oculto	Tiempo de respuesta	El sistema debe actualizar el intervalo de medición. La edición de este valor no debe tomar un tiempo mayor a 10 segundos.
R.4.8	Ajustar umbrales	Evidente	Usabilidad	El sistema debe dar la opción al usuario de cambiar la los umbrales de temperatura y humedad del sistema. El usuario no debe emplear un tiempo mayor a 60 segundos para interactuar con el equipo. Es obligatorio contar con un teclado donde el usuario pueda ingresar los datos solicitados por el equipo.
R.4.9	Modificar umbrales	Oculto	Tiempo de respuesta	El sistema debe actualizar los umbrales de temperatura y humedad. La edición de

				estos valores no debe tomar un tiempo mayor a 5 segundos.
--	--	--	--	---

5.0		Ingreso de datos		
Ref. #	Función	Categoría	Atributos	Detalles y limitaciones
R.5.1	Solicitar datos	Evidente	Usabilidad	El sistema debe solicitar datos y permitir que el usuario ingrese información cuando corresponda. La información solicitada debe ser clara y concisa. El usuario no debe emplear un tiempo mayor a 60 segundos para interactuar con el equipo. Es obligatorio contar con una pantalla donde se muestre al usuario los datos solicitados por el equipo, y un teclado donde el usuario pueda ingresar los datos solicitados.
R.5.2	Capturar datos	Evidente	Tiempo de respuesta	El sistema debe capturar los datos ingresados por el usuario. La captura de datos no debe tomar un tiempo mayor a 10 segundos.

6.1.2. Actores

El software involucra la interacción con varios entes esenciales denominados actores, éstos ejecutan acciones o tiene roles específicos en el sistema. A continuación se describe e identifica a cada uno de ellos.

Actor	Descripción
Usuario	El usuario representa a la persona que interactúa directamente con el equipo, accediendo a la información de éste o configurando los parámetros por defecto.
Reloj	El reloj corresponde al componente encargado de mantener y devolver la fecha y hora del sistema.
Unidad de almacenamiento	La unidad de almacenamiento corresponde al componente donde se almacenarán los datos, manteniéndolos de forma persistente.
SHT15 interno	Este sensor corresponde al componente encargado de obtener las condiciones de temperatura y humedad ambientales al interior de los invernaderos.
ZX-Thermometer suelo	Este sensor corresponde al componente encargado de obtener la condición de temperatura del suelo al interior de los invernaderos.
SEN92355P	Este sensor corresponde al componente encargado de obtener la condición de humedad del suelo al interior de los invernaderos.
ZX-Thermometer agua	Este sensor corresponde al componente encargado de obtener la condición de temperatura del agua al interior de los invernaderos.
SHT15 externo	Este sensor corresponde al componente encargado de obtener las condiciones de

	temperatura y humedad ambientales al exterior de los invernaderos.
LDR	Este sensor corresponde al componente encargado de obtener la condición de luz al exterior de los invernaderos.
Módulo GSM	El módulo GSM corresponde al componente encargado del envío de las alertas vía SMS.

Tabla 19: Listado de actores del sistema.

6.1.3. Casos de uso

Los casos de uso corresponden a escenarios puntuales donde los actores interactúan con el sistema, con la finalidad de cumplir con cada uno de los requerimientos mencionados en las secciones anteriores. Para la identificación de los requerimientos abordados por cada caso de uso, se utiliza el concepto de “referencias cruzadas”, donde se especifica el identificador del requisito que se intenta solucionar a través de las acciones desarrolladas en cada caso de uso.

Los casos de uso también sirven como medio de comprensión del sistema para el desarrollador, ayudando a validar la arquitectura y a verificar el sistema en el transcurso de su desarrollo.

6.1.3.1. Casos de uso esenciales

A continuación se describen los casos de uso en formato esencial expandido.

6.1.3.1.1. Caso de uso 1: Iniciar medición

ID	CU01
Caso de uso	Iniciar medición
Actores	Usuario
Propósito	Iniciar el registro de las condiciones internas y externas de los invernaderos.
Resumen	El usuario ingresa a la opción para iniciar el proceso de medición y el equipo comienza a registrar los datos correspondientes a las condiciones internas y externas de los

	invernaderos.
Tipo	Primario
Referencias cruzadas	R.4.2, R.5.2, R.1.1.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El caso de uso comienza cuando el usuario ingresa a la opción "iniciar medición".	
	2.- El sistema captura la opción ingresada.
	3.- El sistema inicia el proceso de medición.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El usuario no ingresa a la opción "iniciar medición". El sistema sigue funcionando normalmente hasta que la esta opción sea activada.	
	2.- El sistema no reconoce la opción capturada. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.1.2. Caso de uso 2: Medir temperatura interna

ID	CU02
Caso de uso	Medir temperatura interna
Actores	SHT15 interno
Propósito	Medir el valor de temperatura al interior de los invernaderos.
Resumen	Se mide la condición de temperatura al interior de los invernaderos y se almacena temporalmente en el sistema.
Tipo	Primario
Referencias cruzadas	R.1.2, R.1.10.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema

1.- El caso de uso comienza cuando el sensor SHT15 interno recibe una petición del sistema.	
2.- El sensor devuelve la medida de temperatura al interior de los invernaderos.	
	3.- El sistema registra los datos de forma temporal.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
	3.- El sistema falla al registrar los datos. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.1.3. Caso de uso 3: Medir humedad interna

ID	CU03
Caso de uso	Medir humedad interna
Actores	SHT15 interno
Propósito	Medir el valor de humedad al interior de los invernaderos.
Resumen	Se mide la condición de humedad al interior de los invernaderos y se almacena temporalmente en el sistema.
Tipo	Primario
Referencias cruzadas	R.1.3, R.1.11.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El caso de uso comienza cuando el sensor SHT15 interno recibe una petición del sistema.	
2.- El sensor devuelve la medida de humedad al interior de los invernaderos.	
	3.- El sistema registra los datos de forma temporal.

Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
	3.- El sistema falla al registrar los datos. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.1.4. Caso de uso 4: Medir temperatura externa

ID	CU04
Caso de uso	Medir temperatura externa
Actores	SHT15 externo
Propósito	Medir el valor de temperatura al exterior de los invernaderos.
Resumen	Se mide la condición de temperatura al exterior de los invernaderos y se almacena temporalmente en el sistema.
Tipo	Secundario
Referencias cruzadas	R.1.4, R.1.12.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El caso de uso comienza cuando el sensor SHT15 externo recibe una petición del sistema.	
2.- El sensor devuelve la medida de temperatura al exterior de los invernaderos.	
	3.- El sistema registra los datos de forma temporal.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
	3.- El sistema falla al registrar los datos. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.1.5. Caso de uso 5: Medir humedad externa

ID	CU05
Caso de uso	Medir humedad externa
Actores	SHT15 externo
Propósito	Medir el valor de humedad al exterior de los invernaderos.
Resumen	Se mide la condición de humedad al exterior de los invernaderos y se almacena temporalmente en el sistema.
Tipo	Secundario
Referencias cruzadas	R.1.5, R.1.13.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El caso de uso comienza cuando el sensor SHT15 externo recibe una petición del sistema.	
2.- El sensor devuelve la medida de humedad al exterior de los invernaderos.	
	3.- El sistema registra los datos de forma temporal.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
	3.- El sistema falla al registrar los datos. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.1.6. Caso de uso 6: Medir temperatura suelo

ID	CU06
Caso de uso	Medir temperatura suelo
Actores	ZX-Thermometer suelo
Propósito	Medir el valor de temperatura del suelo al interior de los invernaderos.
Resumen	Se mide la condición de temperatura del suelo al interior de los invernaderos y se almacena temporalmente en el sistema.
Tipo	Secundario
Referencias cruzadas	R.1.6, R.1.14.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El caso de uso comienza cuando el sensor ZX-Thermometer suelo recibe una petición del sistema.	
2.- El sensor devuelve la medida de temperatura del suelo al interior de los invernaderos.	
	3.- El sistema registra los datos de forma temporal.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
	3.- El sistema falla al registrar los datos. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.1.7. Caso de uso 7: Medir humedad suelo

ID	CU07
Caso de uso	Medir humedad suelo

Actores	SEN92355P
Propósito	Medir el valor de humedad del suelo al interior de los invernaderos.
Resumen	Se mide la condición de humedad del suelo al interior de los invernaderos y se almacena temporalmente en el sistema.
Tipo	Secundario
Referencias cruzadas	R.1.7, R.1.15.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El caso de uso comienza cuando el sensor SEN92355P recibe una petición del sistema.	
2.- El sensor devuelve la medida de humedad del suelo al interior de los invernaderos.	
	3.- El sistema registra los datos de forma temporal.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
	3.- El sistema falla al registrar los datos. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.1.8. Caso de uso 8: Medir temperatura agua

ID	CU08
Caso de uso	Medir temperatura agua
Actores	ZX-Thermometer agua
Propósito	Medir el valor de temperatura del agua al interior de los invernaderos.

Resumen	Se mide la condición de temperatura del agua que circula por las mangueras al interior de los invernaderos y se almacena temporalmente en el sistema.
Tipo	Secundario
Referencias cruzadas	R.1.8, R.1.16.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El caso de uso comienza cuando el sensor ZX-Thermometer agua recibe una petición del sistema.	
2.- El sensor devuelve la medida de temperatura del agua al interior de los invernaderos.	
	3.- El sistema registra los datos de forma temporal.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
	3.- El sistema falla al registrar los datos. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.1.9. Caso de uso 9: Medir luminosidad

ID	CU09
Caso de uso	Medir luminosidad
Actores	LDR
Propósito	Medir el valor de luminosidad al exterior de los invernaderos.
Resumen	Se mide la condición de luz al exterior de los invernaderos y se almacena temporalmente en

	el sistema.
Tipo	Secundario
Referencias cruzadas	R.1.9, R.1.17.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El caso de uso comienza cuando el sensor LDR recibe una petición del sistema.	
2.- El sensor devuelve la medida de luminosidad al exterior de los invernaderos.	
	3.- El sistema registra los datos de forma temporal.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
	3.- El sistema falla al registrar los datos. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.1.10. Caso de uso 10: Almacenar datos

ID	CU10
Caso de uso	Almacenar datos
Actores	Unidad de almacenamiento, Reloj.
Propósito	Almacenar datos de forma persistente en la unidad de almacenamiento.
Resumen	Se almacenan los datos de las condiciones internas/externas o las configuraciones realizadas al equipo, en ambos casos dichos datos son procesados y almacenados de forma persistente en una unidad de almacenamiento.

Tipo	Primario
Referencias cruzadas	R.2.1, R.2.4, R.2.2, R.2.3, R.2.5, R.2.6.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El caso de uso comienza cuando se inicia la unidad de almacenamiento.	
	2.- El sistema crea un archivo en la unidad de almacenamiento.
	3.- El sistema obtiene la fecha y la hora del reloj.
4.- El reloj devuelve los datos solicitados por el sistema.	
	5.- El sistema procesa los datos a almacenar.
	6.- Los datos son escritos en el archivo.
7.- La unidad de almacenamiento registra los datos.	
	8.- El sistema cierra el archivo.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- La unidad de almacenamiento no se encuentra o no inicia. Se muestra un mensaje de alerta.	
	2.- El sistema falla al crear el archivo. Se muestra un mensaje de alerta.
	6.- El archivo ya existe. Los datos son agregados al final de éste.

6.1.3.1.11. Caso de uso 11: Enviar alertas

ID	CU11
Caso de uso	Enviar alertas
Actores	Módulo GSM
Propósito	Alertar vía SMS cuando las condiciones

	internas sean perjudiciales.
Resumen	Se envía un mensaje de texto al número de teléfono registrado en el equipo informando cuando la condición de temperatura y/o humedad supera un umbral máximo.
Tipo	Primario
Referencias cruzadas	R.3.5, R.3.6, R.3.7.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El caso de uso comienza cuando el módulo GSM es iniciado.	
	2.- El sistema construye el mensaje de alerta.
	3.- El sistema envía el mensaje al módulo GSM para su envío como SMS.
4.- El módulo GSM envía el SMS.	
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El módulo GSM no se encuentra o no inicia. Se muestra un mensaje de alerta.	

6.1.3.1.12. Caso de uso 12: Actualizar teléfono

ID	CU12
Caso de uso	Actualizar teléfono
Actores	Usuario
Propósito	El usuario modifica el número de teléfono registrado en el sistema.
Resumen	El usuario modifica el número de teléfono al cual llegarán las alertas.
Tipo	Secundario
Referencias cruzadas	R.4.4, R.5.2, R.5.1, R.4.5.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema

1.- El caso de uso comienza cuando el usuario ingresa a la opción "cambiar teléfono".	
	2.- El sistema captura la opción.
	3.- El sistema solicita los nuevos datos.
4.- El usuario ingresa los datos solicitados por el sistema.	
	5.- El sistema captura los datos ingresados.
	6.- El sistema modifica el número de teléfono.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El usuario no ingresa a la opción "cambiar teléfono". El sistema sigue funcionando normalmente hasta que la esta opción sea activada.	
	2.- El sistema no reconoce la opción capturada. Se muestra un mensaje de alerta.
4.- El usuario no ingresa los datos. El sistema quedará en espera hasta que los datos sean ingresados.	
	5.- El sistema no puede capturar los datos ingresados. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.1.13. Caso de uso 13: Actualizar intervalo de medición

ID	CU13
Caso de uso	Actualizar intervalo de medición
Actores	Usuario
Propósito	El usuario modifica el intervalo de medición registrado en el sistema.
Resumen	El usuario modifica el tiempo que el sistema emplea entre los momentos de medición.
Tipo	Secundario
Referencias cruzadas	R.4.6, R.5.2, R.5.1, R.4.7.

Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El usuario ingresa a la opción "ajustar intervalo de medición".	
	2.- El sistema captura la opción.
	3.- El sistema solicita los nuevos datos.
4.- El usuario ingresa los solicitados por el sistema.	
	5.- El sistema captura los datos ingresados.
	6.- El sistema modifica el intervalo de medición.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El usuario no ingresa a la opción "ajustar intervalo medición". El sistema sigue funcionando normalmente hasta que la esta opción sea activada.	
	2.- El sistema no reconoce la opción capturada. Se muestra un mensaje de alerta.
4.- El usuario no ingresa los datos. El sistema quedará en espera hasta que los datos sean ingresados.	
	5.- El sistema no puede capturar los datos ingresados. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.1.14. Caso de uso 14: Actualizar umbrales

ID	CU14
Caso de uso	Actualizar umbrales
Actores	Usuario
Propósito	Modificar los umbrales de temperatura y

	humedad.
Resumen	El usuario modifica los umbrales de temperatura y humedad del sistema, definiendo el rango mínimo y máximo de cada condición.
Tipo	Secundario
Referencias cruzadas	R.4.8, R.5.2, R.5.1, R.4.9.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El usuario ingresa a la opción "ajustar umbrales".	
	2.- El sistema captura la opción.
	3.- El sistema solicita los nuevos datos.
4.- El usuario ingresa los solicitados por el sistema.	
	5.- El sistema captura los datos ingresados.
	6.- El sistema modifica los umbrales.
Cursos alternos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1.- El usuario no ingresa a la opción "ajustar umbrales". El sistema sigue funcionando normalmente hasta que la esta opción sea activada.	
	2.- El sistema no reconoce la opción capturada. Se muestra un mensaje de alerta.
4.- El usuario no ingresa los datos. El sistema quedará en espera hasta que los datos sean ingresados.	
	5.- El sistema no puede capturar los datos ingresados. Se muestra un mensaje de alerta.

6.1.3.2. Diagrama de casos de uso

Para entregar un contexto preliminar del sistema, estableciendo los límites de este y esquematizando el comportamiento de sus actores, a continuación se presenta un diagrama con los casos de uso descritos en la sección anterior.

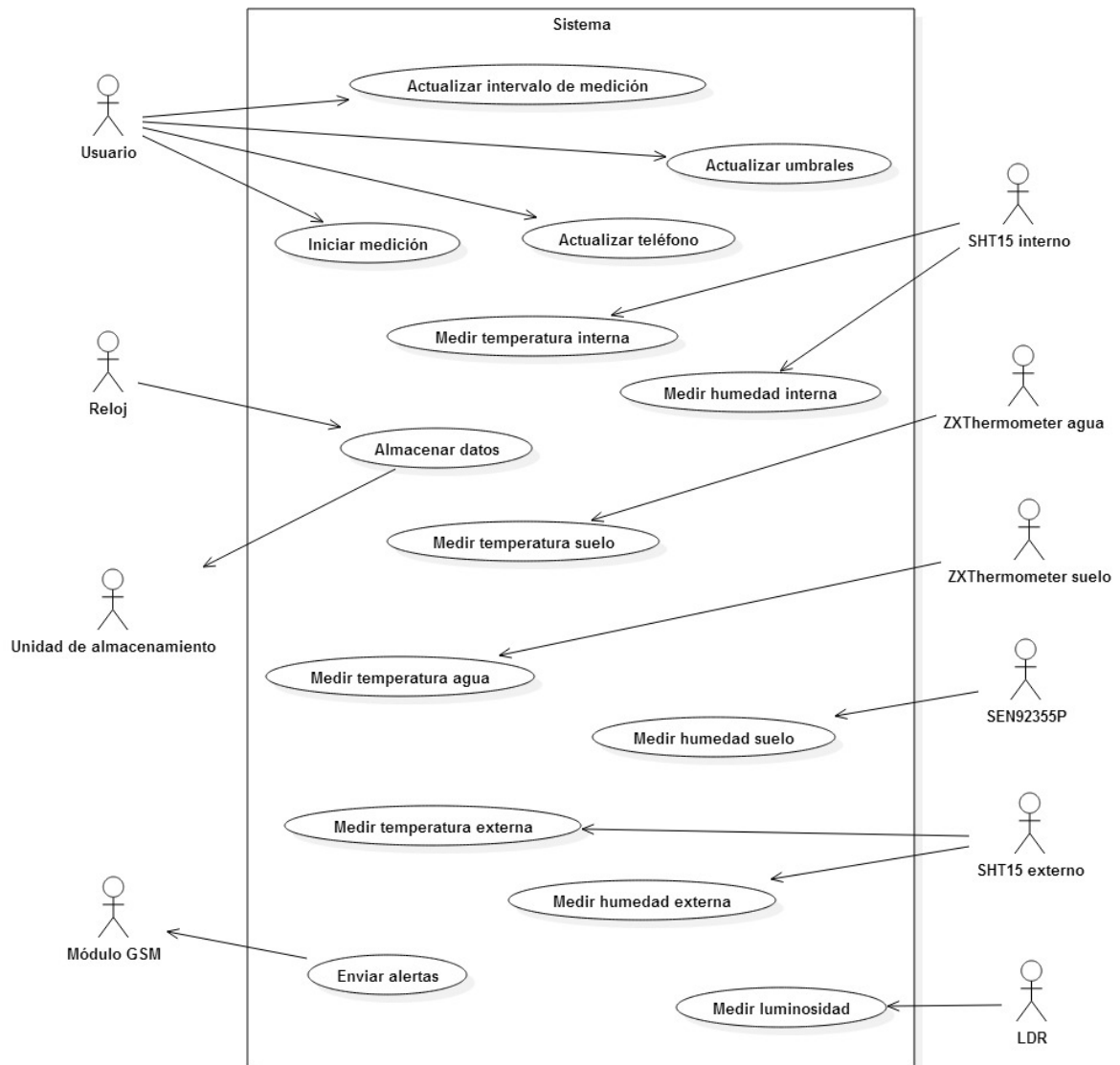


Figura 55: Diagrama general de casos de uso.

6.1.3.3. Modelo conceptual

El modelo conceptual es un artefacto de ingeniería de software que grafica las clases conceptuales significativas del dominio del problema, de esta forma, dicho diagrama pretende mostrar de manera visual el modelo general del software.

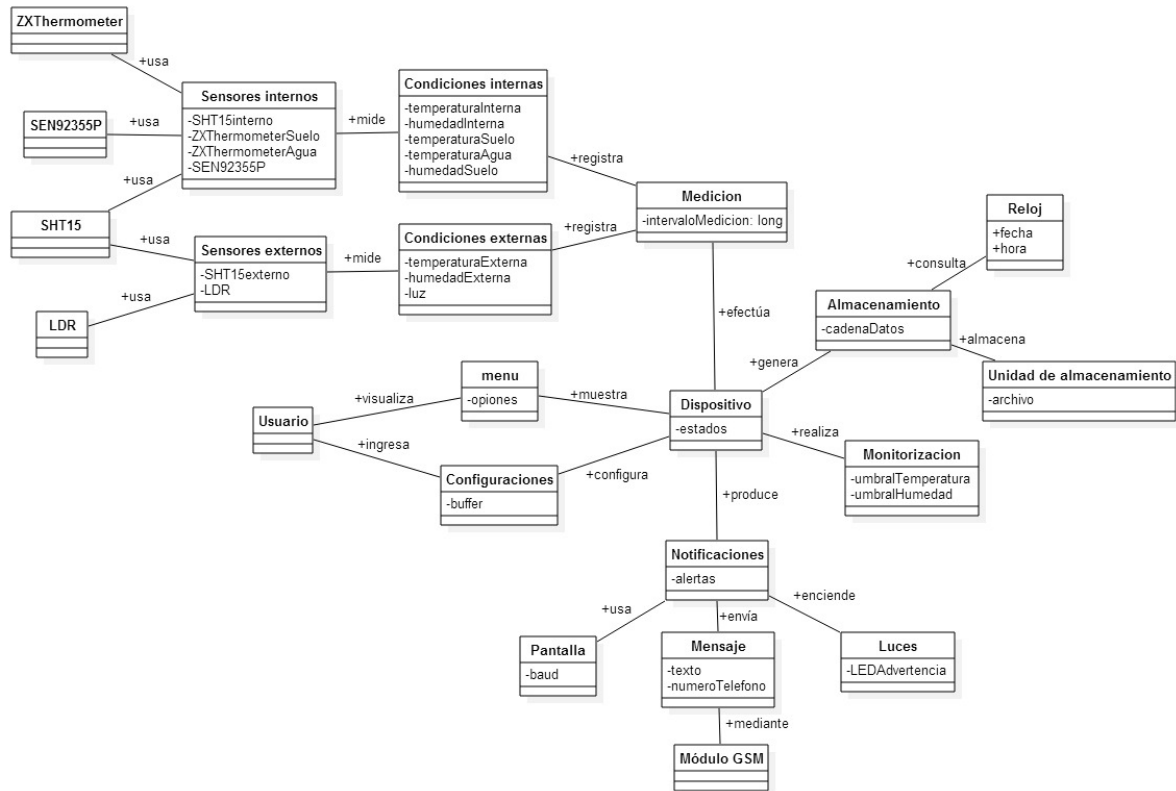


Figura 56: Modelo conceptual.

6.1.3.4. Diagramas de secuencia

Un diagrama de secuencia ilustra un escenario específico de un caso de uso y todos los eventos que generan los actores en el orden adecuado. El sistema se trata como una caja negra en donde solo se destacan los eventos que cruzan desde los actores hacia el sistema. A continuación se detallan los diagramas de secuencia para cada uno de los casos de uso de la sección 6.1.3.1.

6.1.3.4.1. CU01: Iniciar medición

El siguiente diagrama muestra cómo el usuario interactúa con el sistema para comenzar la medición de las condiciones de temperatura y humedad tanto interiores como exteriores.

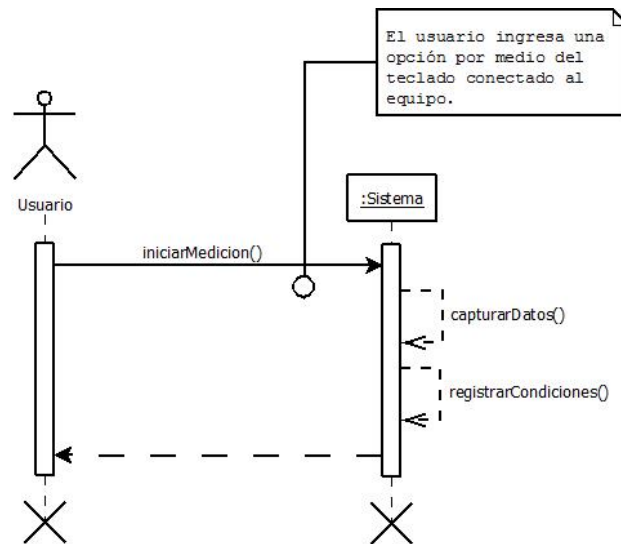


Figura 57: Diagrama de secuencia caso de uso "CU01: Iniciar medición".

6.1.3.4.2. CU02: Medir temperatura interna

El siguiente diagrama muestra las interacciones entre el sensor SHT15 interno y el sistema para la medición de la condición de temperatura ambiental dentro de los invernaderos.

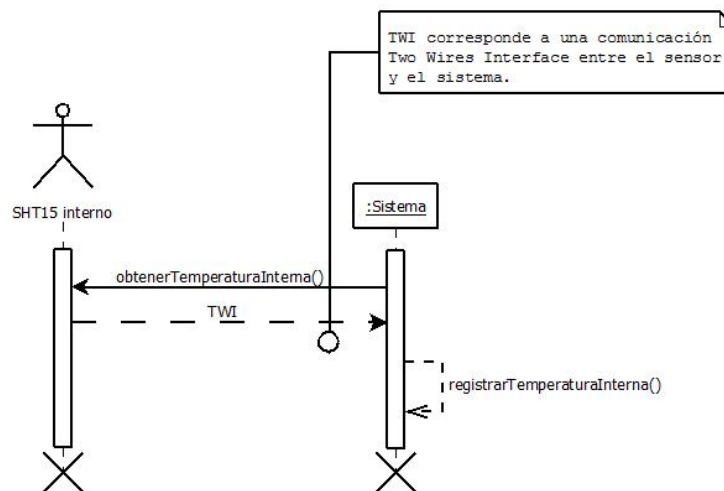


Figura 58: Diagrama de secuencia caso de uso "CU02: Medir temperatura interna".

6.1.3.4.3. CU03: Medir humedad interna

El siguiente diagrama muestra las interacciones entre el sensor SHT15 interno y el sistema para la medición de la condición de humedad ambiental dentro de los invernaderos.

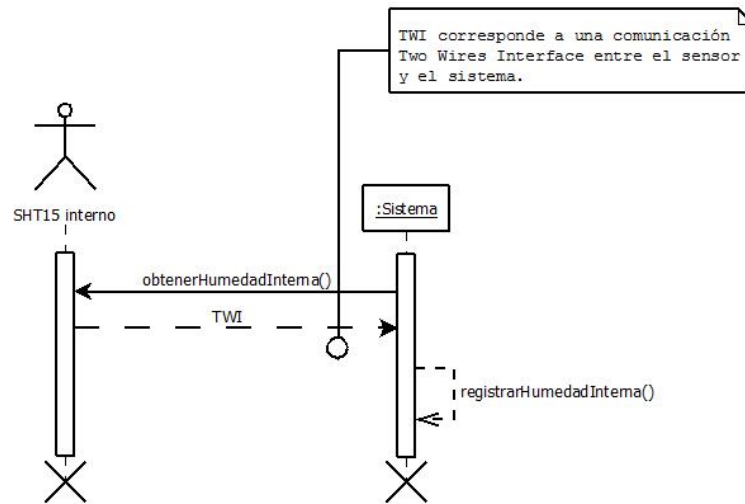


Figura 59: Diagrama de secuencia caso de uso "CU03: Medir humedad interna".

6.1.3.4.4. CU04: Medir temperatura externa

El siguiente diagrama muestra las interacciones entre el sensor SHT15 externo y el sistema para la medición de la condición de temperatura ambiental fuera de los invernaderos.

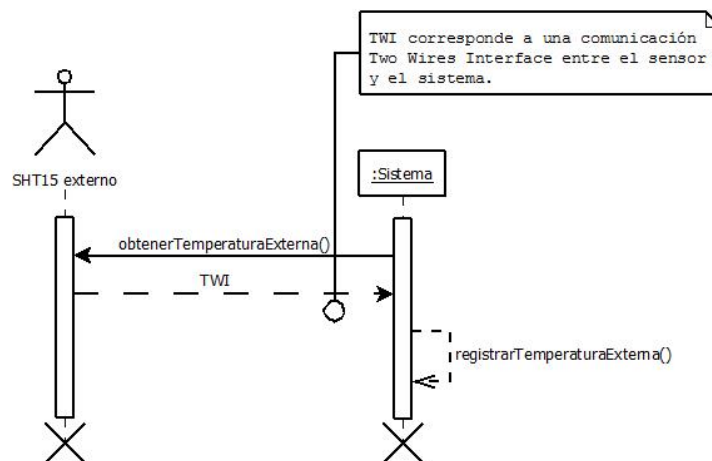


Figura 60: Diagrama de secuencia caso de uso "CU04: Medir temperatura externa".

6.1.3.4.5. CU05: Medir humedad externa

El siguiente diagrama muestra las interacciones entre el sensor SHT15 externo y el sistema para la medición de la condición de humedad ambiental fuera de los invernaderos.

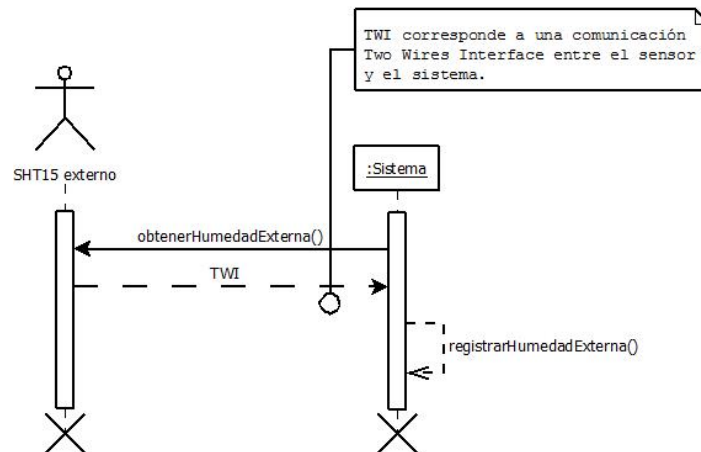


Figura 61: Diagrama de secuencia caso de uso "CU05: Medir humedad externa".

6.1.3.4.6. CU06: Medir temperatura suelo

El siguiente diagrama muestra las interacciones entre el sensor ZX-Thermometer suelo y el sistema para la medición de la condición de temperatura del suelo dentro de los invernaderos.

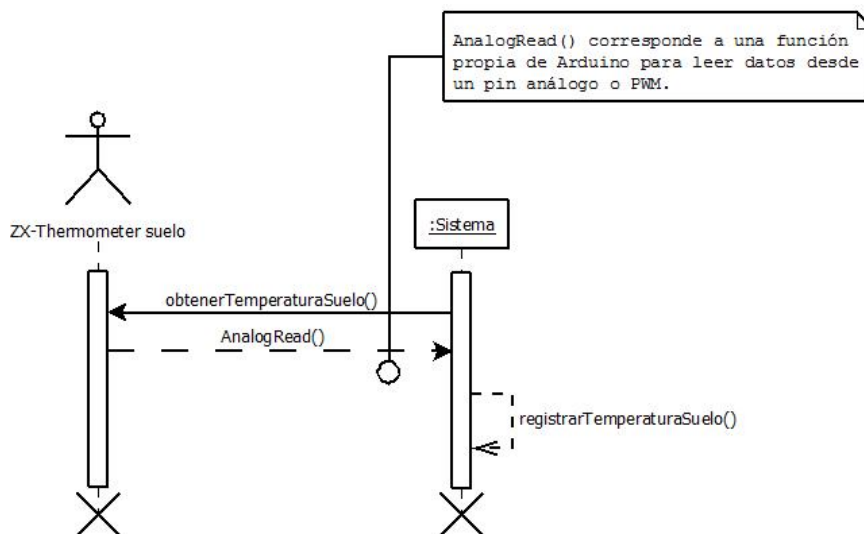


Figura 62: Diagrama de secuencia caso de uso "CU06: Medir temperatura suelo".

6.1.3.4.7. CU07: Medir humedad suelo

El siguiente diagrama muestra las interacciones entre el sensor SEN92355P y el sistema para la medición de la condición de la humedad del suelo dentro de los invernaderos.

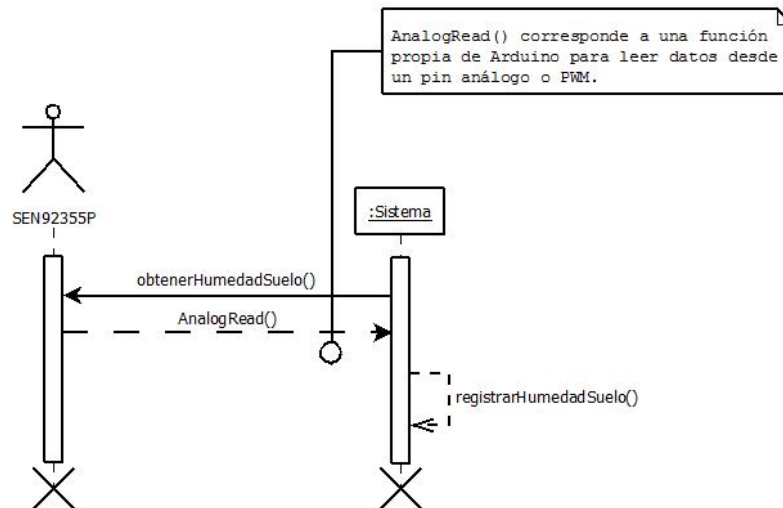


Figura 63: Diagrama de secuencia caso de uso “CU07: Medir humedad suelo”.

6.1.3.4.8. CU08: Medir temperatura agua

El siguiente diagrama muestra las interacciones entre el sensor ZX-Thermometer agua y el sistema para la medición de la condición de temperatura del agua dentro de los invernaderos.

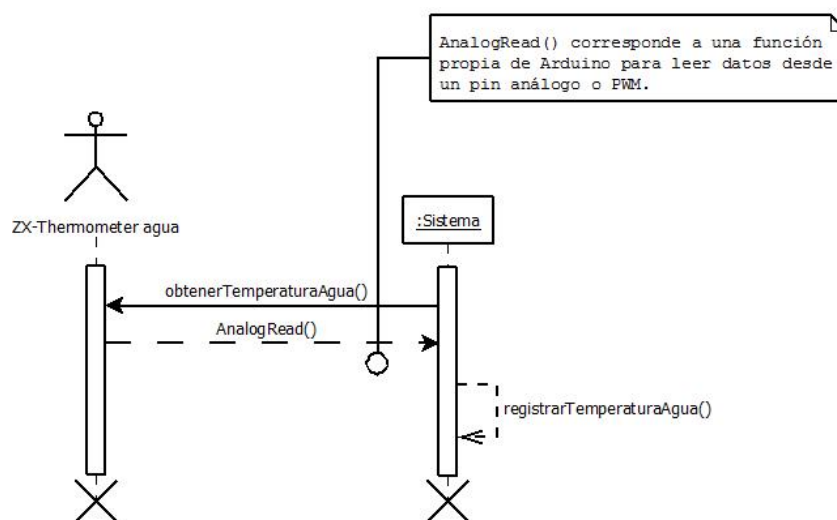


Figura 64: Diagrama de secuencia caso de uso “CU08: Medir temperatura agua”.

6.1.3.4.9. CU09: Medir luminosidad

El siguiente diagrama muestra las interacciones entre el sensor LDR y el sistema para la medición de la condición de luminosidad fuera de los invernaderos.

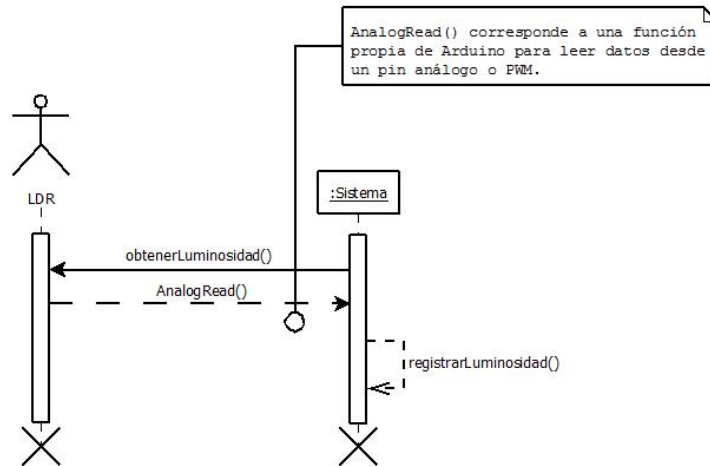


Figura 65: Diagrama de secuencia caso de uso "CU09: Medir luminosidad".

6.1.3.4.10. CU10: Almacenar datos

El siguiente diagrama muestra la interacción entre el sistema y la unidad de almacenamiento para el respaldo de los datos.

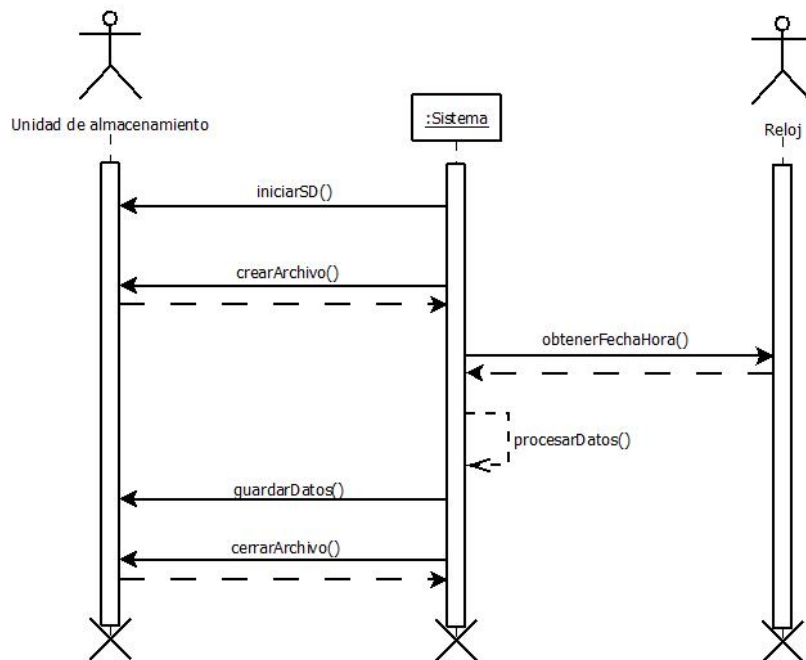


Figura 66: Diagrama de secuencia caso de uso "CU10: Almacenar datos".

6.1.3.4.11. CU11: Enviar alertas

El siguiente diagrama muestra las interacciones entre el sistema y el módulo de comunicación GSM para el envío de alertas.

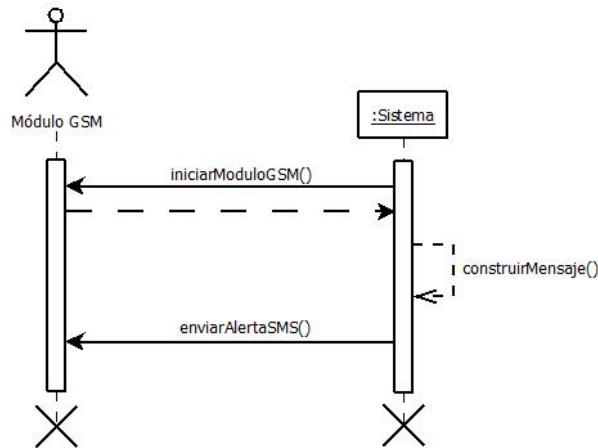


Figura 67: Diagrama de secuencia caso de uso "CU11: Enviar alertas".

6.1.3.4.12. CU12: Actualizar teléfono

El siguiente diagrama muestra la interacción entre el usuario y el sistema para la actualización del número de teléfono al cual llegarán las alertas del equipo.

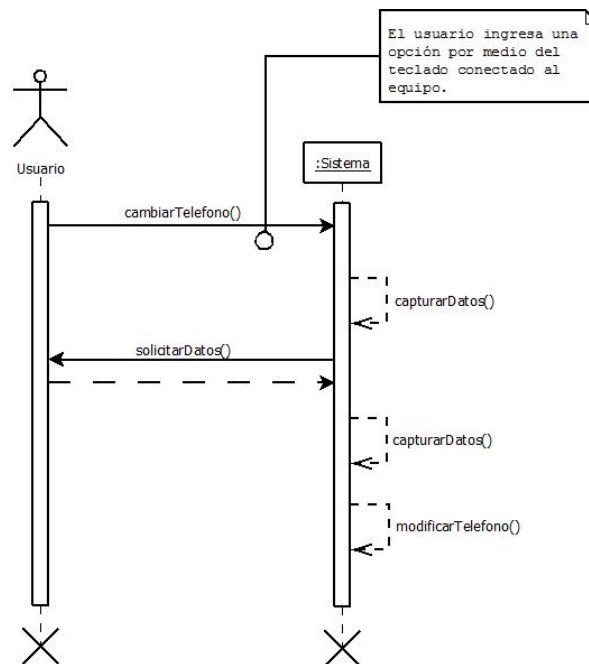


Figura 68: Diagrama de secuencia caso de uso "CU12: Actualizar teléfono".

6.1.3.4.13. CU13: Actualizar intervalo de medición

El siguiente diagrama muestra las interacciones entre el usuario y el sistema para la actualización del intervalo de medición (tiempo transcurrido entre una medición y una siguiente).

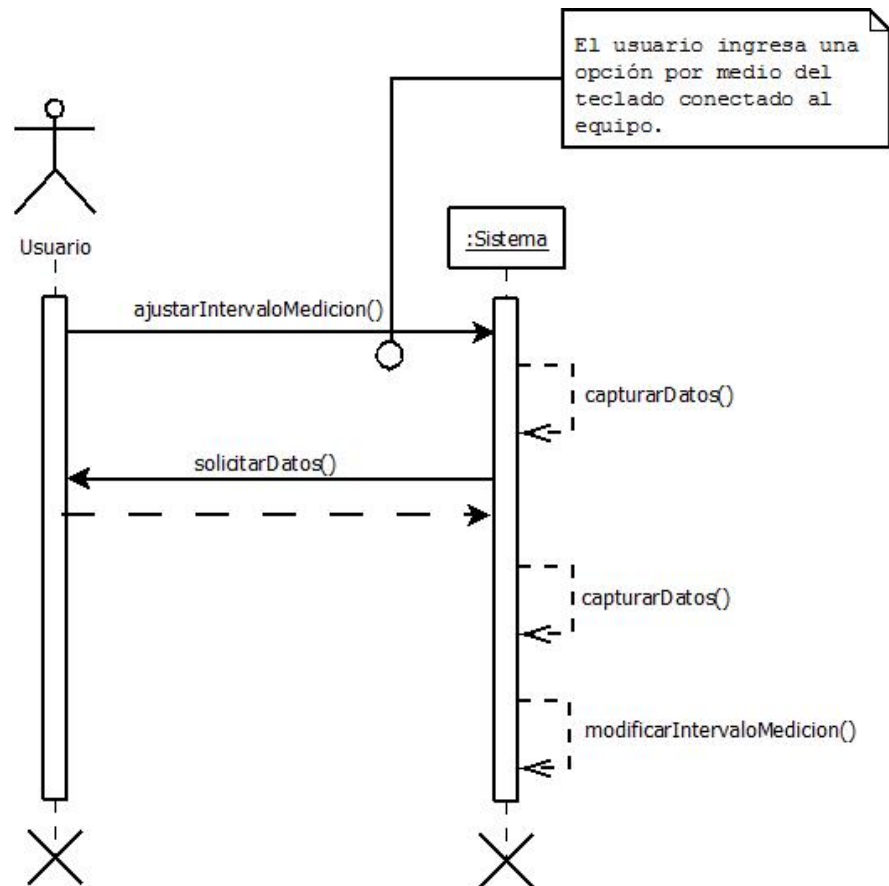


Figura 69: Diagrama de secuencia caso de uso "CU13: Actualizar intervalo medición".

6.1.3.4.14. CU14: Actualizar umbrales

El siguiente diagrama muestra las interacciones entre el usuario y el sistema para la actualización de los umbrales de temperatura y humedad.

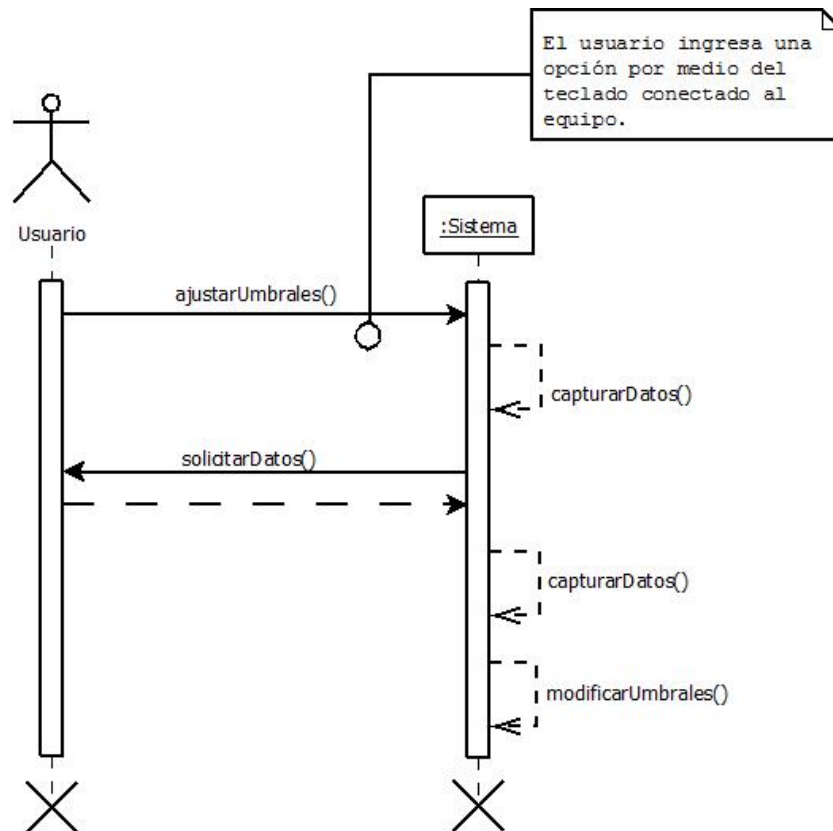


Figura 70: Diagrama de secuencia caso de uso “CU14: Actualizar umbrales”.

6.1.3.5. Contratos

A continuación se presentan los contratos del sistema, éstos ayudan a definir el comportamiento del sistema, describiendo el resultado de la ejecución de las distintas operaciones descritas en los casos de uso y los diagramas de secuencia.

6.1.3.5.1. CO01: iniciarMedicion()

Operación	iniciarMedicion()
Referencias cruzadas	CU01
Precondiciones	- El usuario debe haber presionado la tecla de iniciar medición.
Postcondiciones	- El sistema dejó de mostrar el menú principal.

6.1.3.5.2. CO02: capturarDatos()

Operación	capturarDatos()
Referencias cruzadas	CU01, CU12, CU13, CU14.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El usuario debe haber ingresado una opción.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia de configuraciones.- Se almacenó la información en el buffer de lectura de la instancia anterior.- Se actualizó el estado del sistema.

6.1.3.5.3. CO03: registrarCondiciones()

Operación	registrarCondiciones()
Referencias cruzadas	CU01.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El estado del sistema deber ser "midiendo".
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia de medición.- Se inició el registro de las condiciones internas y externas.

6.1.3.5.4. CO04: obtenerTemperaturaInterna()

Operación	obtenerTemperaturaInterna()
Referencias cruzadas	CU02.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Debe haber conectado un sensor de temperatura al interior de los invernaderos.- El sistema debe haber iniciado el proceso de medición.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia del sensor SHT15.- Se asoció con los Sensores internos.- Se obtuvo el valor de temperatura interna.

6.1.3.5.5. CO05: registrarTemperaturaInterna()

Operación	registrarTemperaturaInterna()
Referencias cruzadas	CU02.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El sistema debe haber obtenido el valor de temperatura interna.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia de condiciones internas.

	<ul style="list-style-type: none"> - Se almacenó el valor de temperatura interna en la instancia anterior.
--	---

6.1.3.5.6. CO06: obtenerHumedadInterna()

Operación	obtenerHumedadInterna()
Referencias cruzadas	CU03.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Debe haber conectado un sensor de humedad al interior de los invernaderos. - El sistema debe haber iniciado el proceso de medición.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se creó una instancia del sensor SHT15. - Se asoció con los Sensores internos. - Se obtuvo el valor de humedad interna.

6.1.3.5.7. CO07: registrarHumedadInterna()

Operación	registrarHumedadInterna()
Referencias cruzadas	CU03.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema debe haber obtenido el valor de humedad interna.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se creó una instancia de condiciones internas. - Se almacenó el valor de humedad interna en la instancia anterior.

6.1.3.5.8. CO08: obtenerTemperaturaExterna()

Operación	obtenerTemperaturaExterna()
Referencias cruzadas	CU04.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Debe haber conectado un sensor de temperatura al exterior de los invernaderos. - El sistema debe haber iniciado el proceso de medición.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se creó una instancia del sensor SHT15. - Se asoció con los Sensores externos. - Se obtuvo el valor de temperatura externa.

6.1.3.5.9. CO09: registrarTemperaturaExterna()

Operación	registrarTemperaturaExterna()
Referencias cruzadas	CU04.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El sistema debe haber obtenido el valor de temperatura externa.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia de condiciones externas.- Se almacenó el valor de temperatura externa en la instancia anterior.

6.1.3.5.10. CO10: obtenerHumedadExterna()

Operación	obtenerHumedadExterna()
Referencias cruzadas	CU05.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Debe haber conectado un sensor de humedad al exterior de los invernaderos.- El sistema debe haber iniciado el proceso de medición.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia del sensor SHT15.- Se asoció con los Sensores externos.- Se obtuvo el valor de humedad externa.

6.1.3.5.11. CO11: registrarHumedadExterna()

Operación	registrarHumedadExterna()
Referencias cruzadas	CU05.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El sistema debe haber obtenido el valor de humedad externa.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia de condiciones externas.- Se almacenó el valor de humedad externa en la instancia anterior.

6.1.3.5.12. CO12: obtenerTemperaturaSuelo()

Operación	obtenerTemperaturaSuelo()
Referencias cruzadas	CU06.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Debe haber conectado y enterrado un sensor de temperatura al interior de los invernaderos.- El sistema debe haber iniciado el proceso de medición.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia del sensor ZXThermometer.- Se asoció con los Sensores internos.- Se obtuvo el valor de temperatura del suelo.

6.1.3.5.13. CO13: registrarTemperaturaSuelo()

Operación	registrarTemperaturaSuelo()
Referencias cruzadas	CU02.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El sistema debe haber obtenido el valor de temperatura del suelo.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia de condiciones internas.- Se almacenó el valor de temperatura del suelo en la instancia anterior.

6.1.3.5.14. CO14: obtenerHumedadSuelo()

Operación	obtenerHumedadSuelo()
Referencias cruzadas	CU07.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Debe haber conectado y enterrado un sensor de humedad al interior de los invernaderos.- El sistema debe haber iniciado el proceso de medición.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia del sensor SEN92355P.- Se asoció con los Sensores internos.- Se obtuvo el valor de humedad del suelo.

6.1.3.5.15. CO15: registrarHumedadSuelo()

Operación	registrarHumedadSuelo()
Referencias cruzadas	CU03.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El sistema debe haber obtenido el valor de humedad del suelo.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia de condiciones internas.- Se almacenó el valor de humedad del suelo en la instancia anterior.

6.1.3.5.16. CO16: obtenerTemperaturaAgua()

Operación	obtenerTemperaturaAgua()
Referencias cruzadas	CU08.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Debe haber conectado y dentro de las mangueras de regadío un sensor de temperatura al interior de los invernaderos.- El sistema debe haber iniciado el proceso de medición.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia del sensor ZXThermometer.- Se asoció con los Sensores internos.- Se obtuvo el valor de temperatura del agua.

6.1.3.5.17. CO17: registrarTemperaturaAgua()

Operación	registrarTemperaturaAgua()
Referencias cruzadas	CU09.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El sistema debe haber obtenido el valor de temperatura del agua.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia de condiciones internas.- Se almacenó el valor de temperatura del agua en la instancia anterior.

6.1.3.5.18. CO18: obtenerLuminosidad()

Operación	obtenerLuminosidad()
Referencias cruzadas	CU09.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Debe haber conectado un sensor de luz al exterior de los invernaderos.- El sistema debe haber iniciado el proceso de medición.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia del sensor LDR.- Se asoció con los Sensores externos.- Se obtuvo el valor de luminosidad.

6.1.3.5.19. CO19: registrarLuminosidad()

Operación	registrarLuminosidad()
Referencias cruzadas	CU09.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El sistema debe haber obtenido el valor de luminosidad.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia de condiciones externas.- Se almacenó el valor de luminosidad en la instancia anterior.

6.1.3.5.20. CO20: iniciarSD()

Operación	iniciarSD()
Referencias cruzadas	CU10.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Debe haber conectada una unidad de almacenamiento al equipo.- El sistema debe haber iniciado el proceso de medición.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia de almacenamiento.- Se asoció a la unidad de almacenamiento.- Se verificó la conexión con la unidad de almacenamiento.

6.1.3.5.21. CO21: crearArchivo()

Operación	crearArchivo()
Referencias cruzadas	CU10.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema debe haber comprobado la conexión con una unidad de almacenamiento.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se creó un archivo en la unidad de almacenamiento.

6.1.3.5.22. CO22: obtenerFechaHora()

Operación	obtenerFechaHora()
Referencias cruzadas	CU10.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Debe haber conectado un RTC al equipo.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se creó una instancia de reloj. - Se retornó la fecha y hora al sistema.

6.1.3.5.23. CO23: procesarDatos()

Operación	procesarDatos()
Referencias cruzadas	CU10.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema debe haber comprobado la conexión con una unidad de almacenamiento. - El sistema debe haber registrado las condiciones internas y externas de los invernaderos.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se creó una cadena de texto en formato CSV con las condiciones registradas.

6.1.3.5.24. CO24: guardarDatos()

Operación	guardarDatos()
Referencias cruzadas	CU10.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema debe haber creado un archivo en la unidad de almacenamiento.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se almacenó la información de las condiciones registradas en el archivo creado en la unidad de

	almacenamiento.
--	-----------------

6.1.3.5.25. CO25: cerrarArchivo()

Operación	cerrarArchivo()
Referencias cruzadas	CU10.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema debe haber creado un archivo en la unidad de almacenamiento.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se cerró el archivo creado en la unidad de almacenamiento y se liberó la memoria asociada en el equipo.

6.1.3.5.26. CO26: iniciarModuloGSM()

Operación	iniciarModuloGSM()
Referencias cruzadas	CU11.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Debe haber conectado un módulo GSM al equipo. - Las condiciones internas de temperatura y/o humedad deben ser mayores a los umbrales normales.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se creó una instancia de notificaciones. - Se asoció a una instancia de mensajes. - Se asoció al módulo GSM. - Se verificó la conexión con el módulo GSM.

6.1.3.5.27. CO27: construirMensaje()

Operación	construirMensaje()
Referencias cruzadas	CU11.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema debe haber comprobado la conexión con un módulo GSM.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se creó una instancia de mensajes. - Se creó el texto del mensaje de alerta incorporando las condiciones de temperatura y humedad internas.

6.1.3.5.28. CO28: enviarAlertaSMS()

Operación	enviarAlertaSMS()
Referencias cruzadas	CU11.
Precondiciones	- El sistema debe haber construido el mensaje de alerta.
Postcondiciones	- Se envió el mensaje de alerta al módulo GSM. - El módulo GSM envió el mensaje vía SMS.

6.1.3.5.29. CO29: cambiarTelefono()

Operación	cambiarTelefono()
Referencias cruzadas	CU12.
Precondiciones	- El usuario debe haber ingresado a la opción cambiar teléfono.
Postcondiciones	- El sistema dejó de mostrar el menú principal.

6.1.3.5.30. CO30: solicitarDatos()

Operación	solicitarDatos()
Referencias cruzadas	CU12, CU13, CU14.
Precondiciones	- Debe haber una pantalla conectada al equipo.
Postcondiciones	- Se creó una instancia de configuraciones. - Se solicitó el ingreso de información.

6.1.3.5.31. CO31: modificarTelefono()

Operación	modificarTelefono()
Referencias cruzadas	CU12.
Precondiciones	- El sistema debe haber capturado los datos ingresados por el usuario.
Postcondiciones	- Se creó una instancia de notificaciones. - Se asoció una instancia de mensajes. - Se actualizó el número de teléfono de la instancia anterior por el nuevo número ingresado.

6.1.3.5.32. CO32: ajustarIntervaloMedicion()

Operación	ajustarIntervaloMedicion()
Referencias cruzadas	CU13.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El usuario debe haber ingresado a la opción ajustar intervalo de medición.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El sistema dejó de mostrar el menú principal.

6.1.3.5.33. CO33: modificarIntervaloMedicion()

Operación	modificarIntervaloMedicion()
Referencias cruzadas	CU13.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El sistema debe haber capturado los datos ingresados por el usuario.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- Se creó una instancia de mediciones.- Se actualizó el intervalo de medición de la instancia anterior por el nuevo intervalo ingresado.

6.1.3.5.34. CO34: ajustarUmbrales()

Operación	ajustarIntervaloMedicion()
Referencias cruzadas	CU14.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El usuario debe haber ingresado a la opción ajustar intervalo umbrales.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El sistema dejó de mostrar el menú principal.

6.1.3.5.35. CO35: modificarUmbrales()

Operación	modificarUmbrales()
Referencias cruzadas	CU14.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none">- El sistema debe haber capturado los datos ingresados por el usuario.

Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se creó una instancia de monitorización. - Se actualizó el umbral de temperatura y humedad de la instancia anterior por los nuevos umbrales ingresados.
------------------------	--

6.1.4. Priorización

A continuación se presenta una tabla con las categorías de priorización de los casos de uso según su puntaje. Si bien esta es una aplicación informal, servirá posteriormente para orientar el desarrollo y posterior diseño del software.

Clasificación	Puntaje
Alto (Esencial)	26 - 35
Medio (Importante)	16 - 25
Bajo (Deseable)	1 - 15

Tabla 20: Tabla de puntajes de priorización.

La siguiente tabla contiene y describe las cualidad que se evaluaron en cada uno de los casos de uso, donde mientras más alto sea el puntaje, más compleja se torna una cualidad.

Código	Cualidad (Descripción)	Puntaje
A	Requiere una investigación fondo o es una tecnología nueva o riesgosa.	[1 – 5]
B	Si no se genera, el mismo software se ve afectado.	[1 – 5]
C	Entrega datos que más tarde serán mostrados al usuario.	[1 – 5]
D	El usuario es capaz de modificar su funcionamiento.	[1 – 5]
E	Incluye funciones riesgosas, urgentes o complejas.	[1 – 5]
F	Tiene una fuerte repercusión en el diseño arquitectónico o requiere servicios de persistencia.	[1 – 5]
G	Se utiliza constantemente.	[1 – 5]

Tabla 21: Tabla de cualidades para la clasificación de los casos de uso.

Dado los datos anteriores, se procedió a la evaluación de los casos de uso, obteniendo los siguientes resultados.

Caso de uso	A	B	C	D	E	F	G	Puntaje	Calificación
CU01	1	5	5	5	1	3	1	21	Medio
CU02	4	5	5	1	3	4	5	27	Alto
CU03	4	5	5	1	3	4	5	27	Alto
CU04	2	4	5	1	1	4	5	22	Medio
CU05	2	4	5	1	1	4	5	22	Medio
CU06	1	1	4	1	1	2	5	15	Bajo
CU07	1	1	4	1	1	2	5	15	Bajo
CU08	1	1	4	1	1	2	5	15	Bajo
CU09	1	1	4	1	1	2	5	15	Bajo
CU10	5	5	5	3	4	4	5	31	Alto
CU11	5	1	5	3	5	2	2	23	Medio
CU12	2	1	1	5	2	1	1	13	Bajo
CU13	2	1	1	5	3	2	1	15	Bajo
CU14	2	1	1	5	3	2	1	15	Bajo

Tabla 22: Tabla de priorización de los casos de uso.

6.1.5. Modelo de dominio

A continuación se describe el modelo de dominio del software, en esta sección se caracterizan las entidades, se presenta un esquema del modelo y la matriz de rastreabilidad asociada a este.

6.1.5.1. Entidades reconocidas

En esta sección se describen brevemente las entidades que aparecen en los casos de uso y las que fueron sintetizadas a partir de estos.

- a) **Usuario:** Es la persona quien interactúa con el sistema por medio del teclado y la pantalla conectada al equipo.

- b) **Configuraciones:** Esta entidad almacena temporalmente la información ingresada por el usuario por medio de un buffer de entrada y envía la información al equipo.
- c) **Menú:** Esta entidad se encarga de mostrar información al usuario como opciones de configuración y las medidas captadas por los sensores.
- d) **ZXThermometer:** Esta entidad corresponde a los sensores encargados de obtener las condiciones de temperatura del agua y del suelo dentro de los invernaderos.
- e) **SEN92355P:** Esta entidad corresponde al sensor encargado de obtener la condición de humedad del suelo dentro de los invernaderos.
- f) **SHT15:** Esta entidad corresponde a los sensores encargados de obtener las condiciones de temperatura y humedad ambientales tanto dentro como fuera de los invernaderos.
- g) **LDR:** Esta entidad corresponde al sensor encargado de obtener la condición de luminosidad fuera de los invernaderos.
- h) **Sensores internos:** Esta entidad contiene las instancias de los sensores encargados de medir las condiciones de temperatura ambiental, humedad ambiental, temperatura del suelo, humedad del suelo y temperatura del agua al interior de los invernaderos.
- i) **Condiciones internas:** Esta entidad se encarga de registrar las condiciones obtenidas por el sensor interno.
- j) **Sensores externos:** Esta entidad contiene las instancias de los sensores encargados de medir las condiciones de temperatura ambiental, humedad ambiental y luminosidad al exterior de los invernaderos.
- k) **Condiciones externas:** Esta entidad se encarga de registrar las condiciones obtenidas por el sensor externo.
- l) **Medición:** Esta entidad se encarga de controlar los momentos de medición por medio de un intervalo de tiempo.
- m) **Monitorización:** Esta entidad registra los umbrales máximos de temperatura y humedad que pueden haber al interior de los invernaderos y realiza evaluaciones sobre las condiciones medidas por el equipo.

- n) **Almacenamiento:** Esta entidad se encarga de construir la cadena de datos con la información obtenida por los sensores para ser almacenada en la unidad de almacenamiento.
- o) **Reloj:** Esta entidad corresponde al RTC conectado al equipo y se encarga de entregar la fecha y hora al sistema.
- p) **Unidad de almacenamiento:** Esta entidad corresponde a la memoria microSD conectada al equipo, donde se almacenan los archivos con la información de las mediciones obtenidas por los sensores.
- q) **Notificaciones:** Esta entidad se encarga de generar las alertas enviadas al usuario cuando las condiciones de temperatura y/o humedad superen los umbrales máximos.
- r) **Mensaje:** Esta entidad contiene el texto del mensaje de alerta enviado al usuario, dicho mensaje muestra las condiciones de temperatura y/o humedad al interior de los invernaderos.
- s) **Módulo GSM:** Esta entidad corresponde al componente encargado de enviar las alertas vía SMS.
- t) **Luces:** Esta entidad se encarga del encendido y apagado de LEDs de advertencia cuando la condición de temperatura y/o humedad sea desfavorable.
- u) **Pantalla:** Esta entidad se encarga de controlar el LCD conectado al equipo, mostrando información por medio de una comunicación serial.
- v) **Dispositivo:** Esta entidad es la encargada de conectar y coordinar todas las demás entidades del sistema, contiene un estado que puede ser modo consola mostrando opciones al usuario o modo lectura, iniciando el proceso de medición.

6.1.5.2. Modelo de dominio

A continuación se presenta un esquema del modelo de dominio con las entidades agrupadas en cinco dominios principales; dominio de mediciones, dominio de almacenamiento, dominio de interacción, dominio de alertas y dominio de gestión.

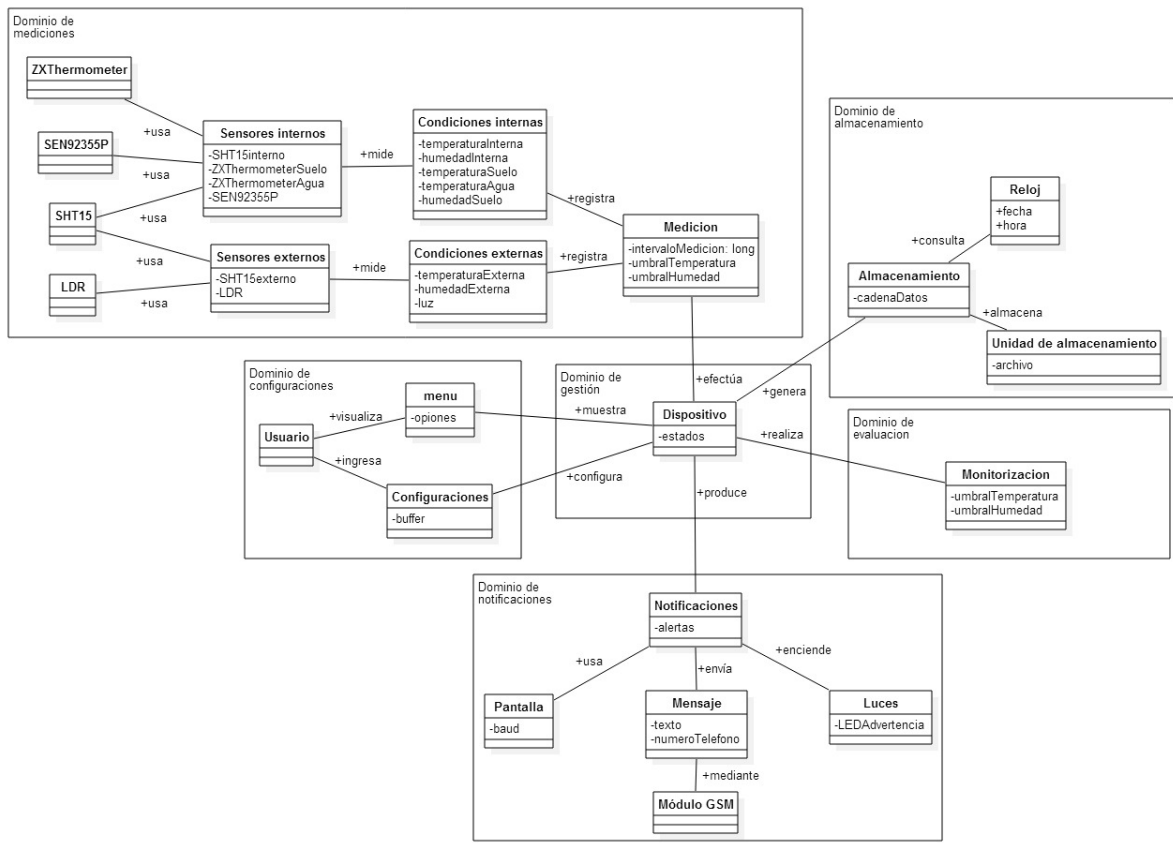


Figura 71: Modelo de dominio.

6.1.5.3. Matriz de rastreabilidad

La matriz de rastreabilidad indica cuáles conceptos del modelo de dominio participan en los distintos casos de uso.

La siguiente tabla identifica las entidades reconocidas en el software.

ID	Entidad
E1	Usuario
E2	Configuraciones
E3	Menú

E4	ZXThermometer
E5	SEN92355P
E6	SHT15
E7	LDR
E8	Sensor interno
E9	Condiciones internas
E10	Sensor externo
E11	Condiciones externas
E12	Medición
E13	Monitorización
E14	Almacenamiento
E15	Reloj
E16	Unidad de almacenamiento
E17	Notificaciones
E18	Mensaje
E19	Módulo GSM
E20	Luces
E21	Pantalla
E22	Dispositivo

Tabla 23: Identificación de entidades del software.

Dada la tabla anterior, a continuación se presenta la matriz de rastreabilidad donde se relacionan las entidades identificadas con los casos de uso.

ER/ CU	CU 01	CU 02	CU 03	CU 04	CU 05	CU 06	CU 07	CU 08	CU 09	CU 10	CU 11	CU 12	CU 13	CU 14
E1	X											X	X	X
E2	X											X	X	X
E3	X											X	X	X
E4						X		X						
E5							X							
E6		X	X	X	X									

E7									X					
E8		X	X			X	X	X						
E9		X	X			X	X	X						
E10				X	X				X					
E11				X	X				X					
E12		X	X	X	X	X	X	X	X					
E13														X
E14										X				
E15										X				
E16										X				
E17											X			
E18											X			
E19											X			
E20											X			
E21	X											X	X	X
E22	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 24: Matriz de rastreabilidad del software.

6.2. Diseño

Después de la identificación de los requisitos y la creación del modelo de dominio, se añaden métodos a las clases de software y se define el paso de mensajes entre los objetos para satisfacer los requisitos planteados.

En esta sección se diseñarán las realizaciones de los casos de uso, se asignarán responsabilidades a las clases y se utilizará el Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés) para ilustrar el diseño de objetos desarrollados a partir de la información descrita en la etapa anterior.

6.2.1. Diagramas de interacción

Un diagrama de interacción es un artefacto UML capaz de ilustrar el modo en que los objetos interactúan por medio de mensajes. Los patrones GRASP (Larman, 2004) son utilizados para la asignación de responsabilidades durante la creación de diagramas de interacción y para mejorar la calidad del diseño de software, junto con entregar un respaldo a las decisiones tomadas en esta etapa. A continuación se describen los patrones utilizados.

- **Controlador:** Es un objeto que tiene la responsabilidad del manejo de eventos (acciones del usuario o del sistema), realiza cambios en los objetos del modelo y gestiona operaciones sobre estos.
- **Experto:** Es un objeto que tiene toda la información necesaria para cumplir con las responsabilidades demandadas.
- **Creador:** Es un objeto que tiene la responsabilidad de crear instancias de otro objeto, con la finalidad de manipularlo o de acceder a los datos que dicho objeto contenga.
- **Bajo acoplamiento:** Es un objeto que tiene la responsabilidad de realizar una o más operaciones y que depende de muchas clases para realizar las responsabilidades asignadas.
- **Alta cohesión:** Es un objeto que tiene la responsabilidad de realizar una o más operaciones que se encuentran altamente relacionadas entre sí, pero que no constituyen una gran tarea.

A continuación se presentan los diagramas de interacción de los casos de uso cuyo nivel de priorización resultó ser ALTO o MEDIO, describiendo las interacciones más importantes del sistema.

6.2.1.1. *Iniciar Medición*

Este diagrama muestra los objetos involucrados en la iniciación de las mediciones del equipo.

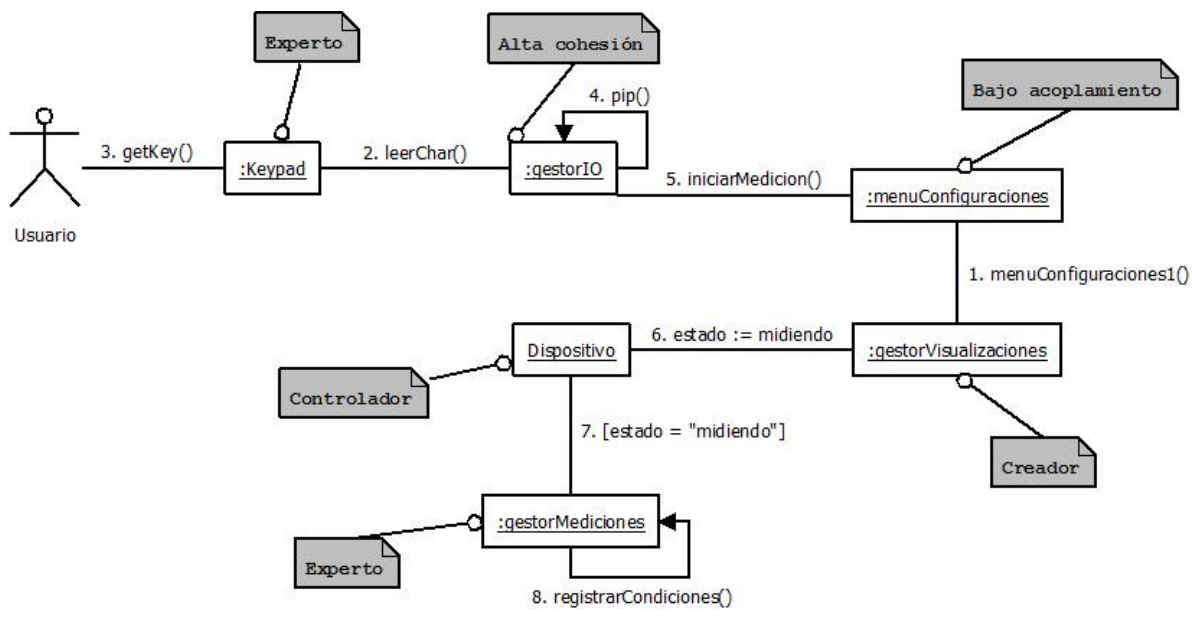


Figura 72: Diagrama de colaboración del caso de uso "CU01: Iniciar medición".

6.2.1.2. Medir temperatura interna

Este diagrama muestra los objetos involucrados en la medición de la temperatura al interior de los invernaderos.

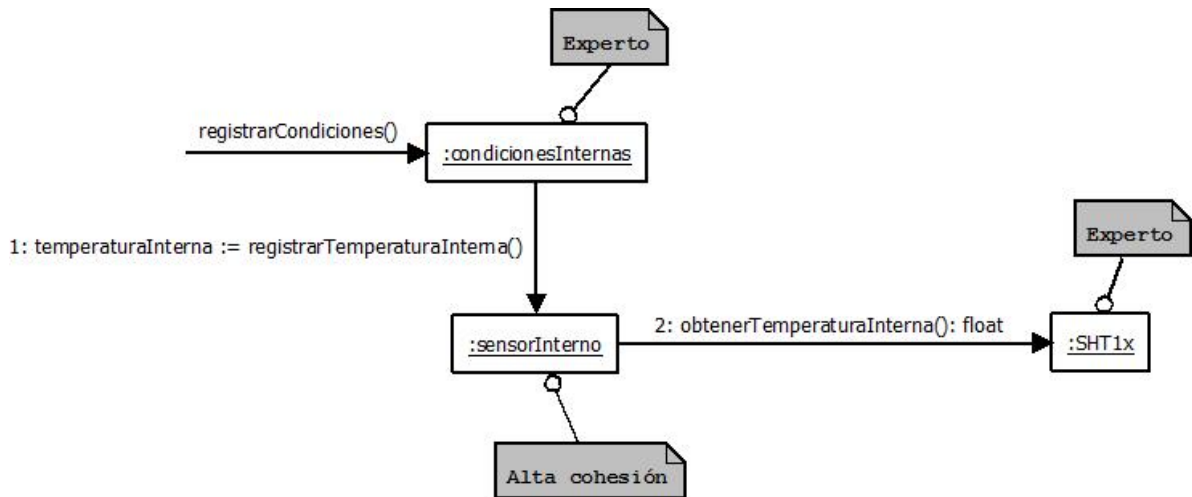


Figura 73: Diagrama de colaboración del caso de uso "CU02: Medir temperatura interna".

6.2.1.3. Medir humedad interna

Este diagrama muestra los objetos involucrados en la medición de la humedad al interior de los invernaderos.

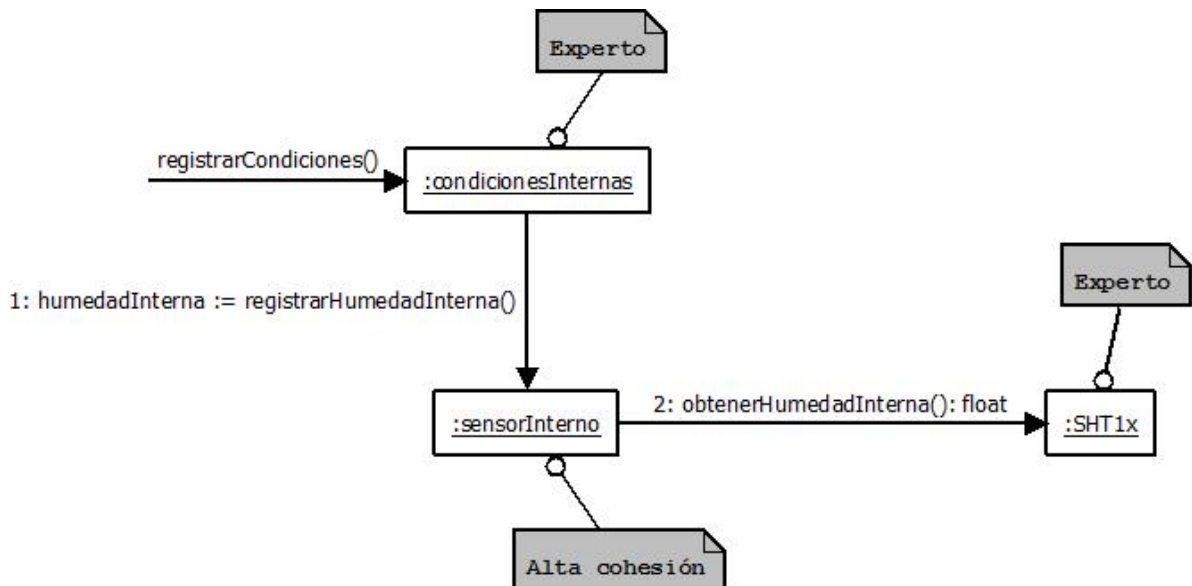


Figura 74: Diagrama de colaboración del caso de uso "CU03: Medir humedad interna".

6.2.1.4. Medir temperatura externa

Este diagrama muestra los objetos involucrados en la medición de la temperatura al exterior de los invernaderos.

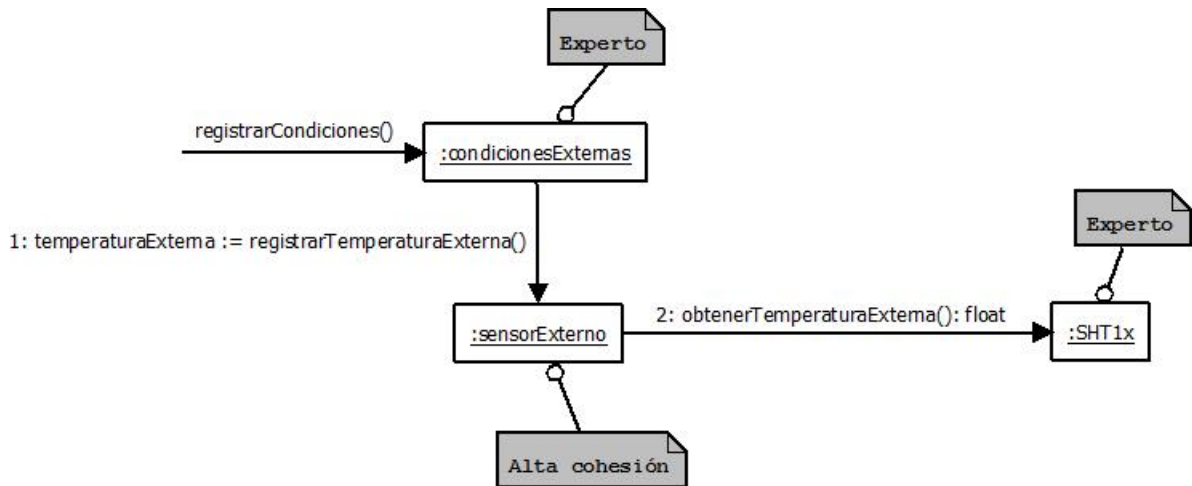


Figura 75: Diagrama de colaboración del caso de uso “CU04: Medir temperatura externa”.

6.2.1.5. Medir humedad externa

Este diagrama muestra los objetos involucrados en la medición de la humedad al exterior de los invernaderos.

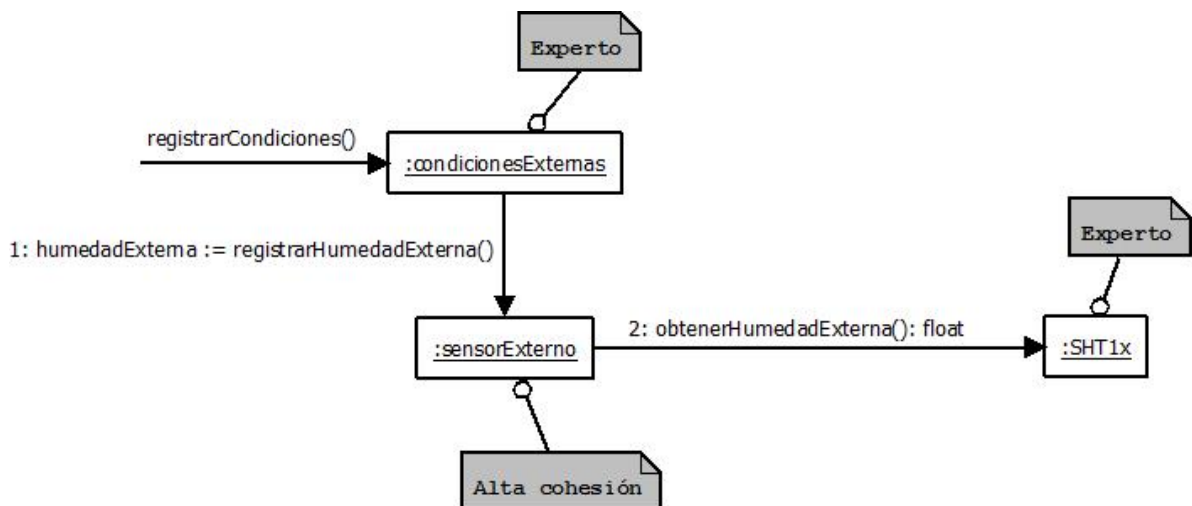


Figura 76: Diagrama de colaboración del caso de uso “CU05: Medir humedad externa”.

6.2.1.6. Almacenar datos

Este diagrama muestra los objetos involucrados en el almacenamiento de los datos registrados por el equipo.

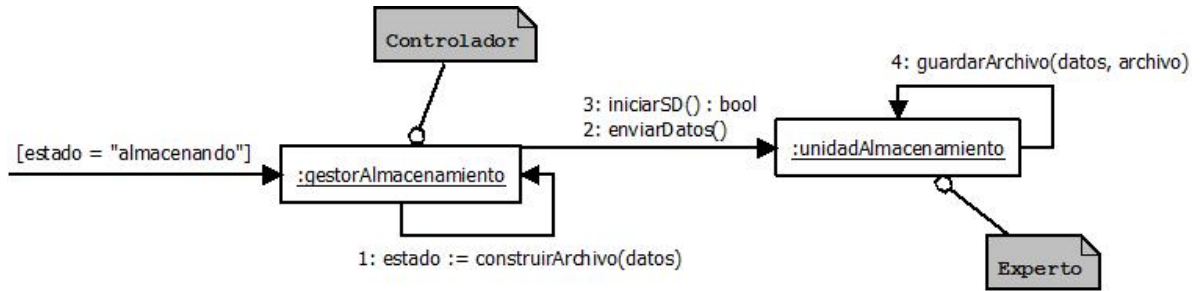


Figura 77: Diagrama de colaboración del caso de uso "CU10: Almacenar datos".

6.2.1.7. Enviar alertas

Este diagrama muestra los objetos involucrados en el envío de las alertas vía SMS.

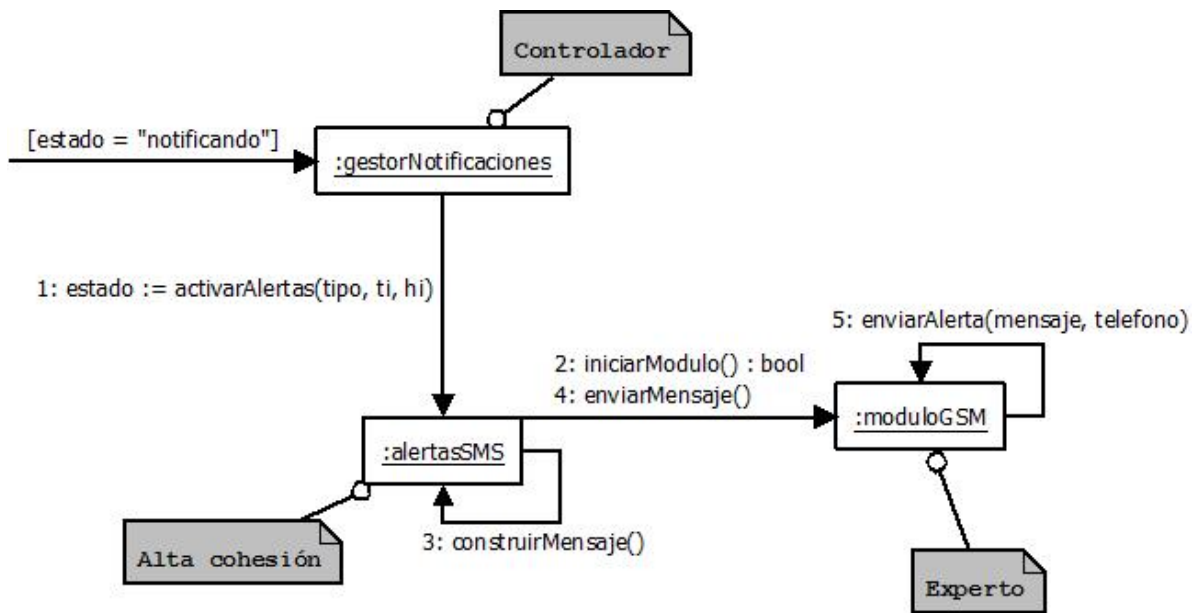


Figura 78: Diagrama de colaboración del caso de uso "CU11: Enviar alerta".

6.2.2. Diagramas de clases

Este diagrama describe las especificaciones de las clases de software mostrando elementos como atributos, métodos, visibilidad y dependencias.

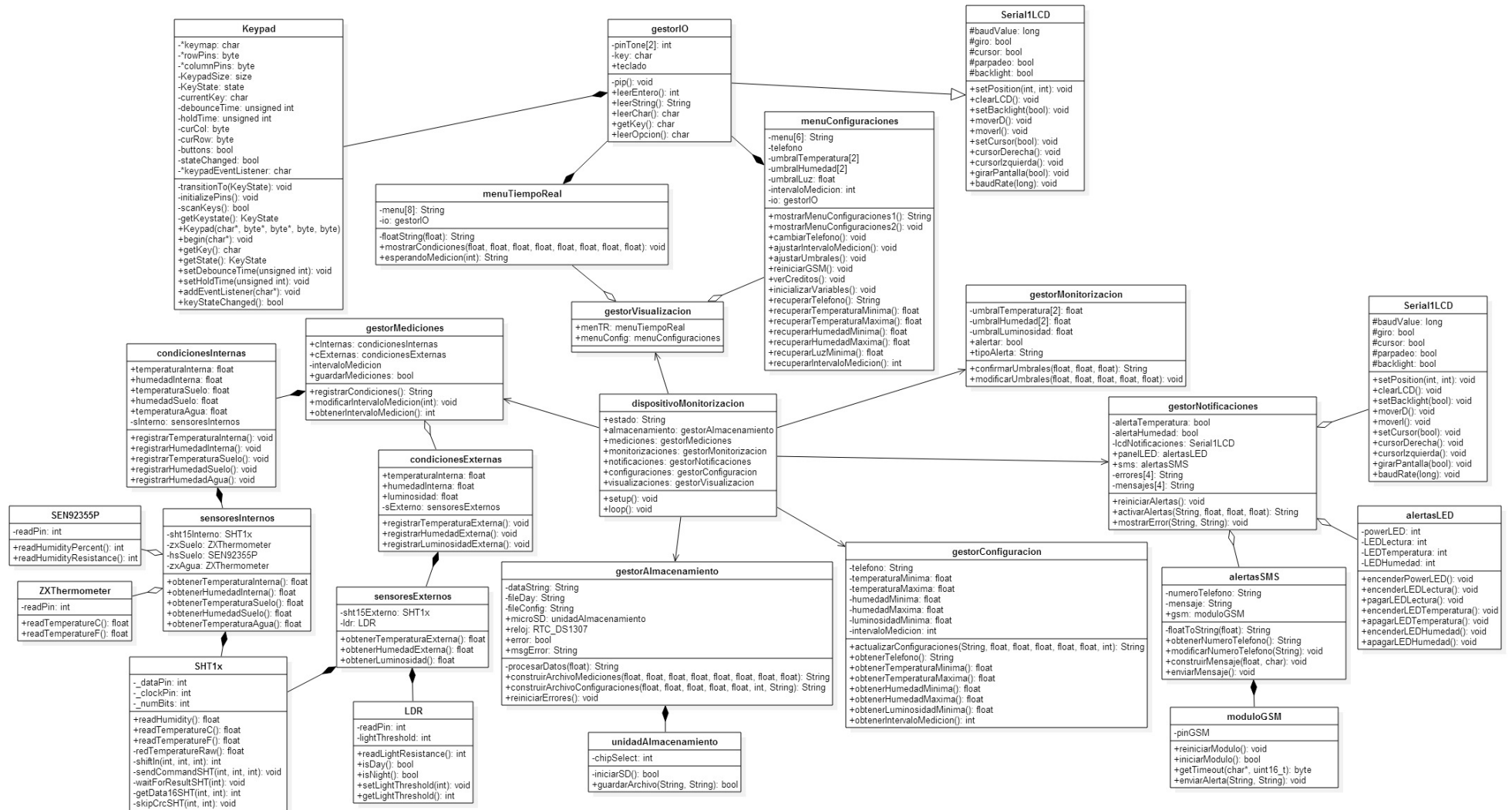


Figura 79: Diagrama de clases.

6.2.3. Diagrama de paquetes

El diagrama de paquetes permite dividir el modelo de clases, agrupando o encapsulando sus elementos en unidades lógicas individuales, entregando una visión macro de la arquitectura del sistema.

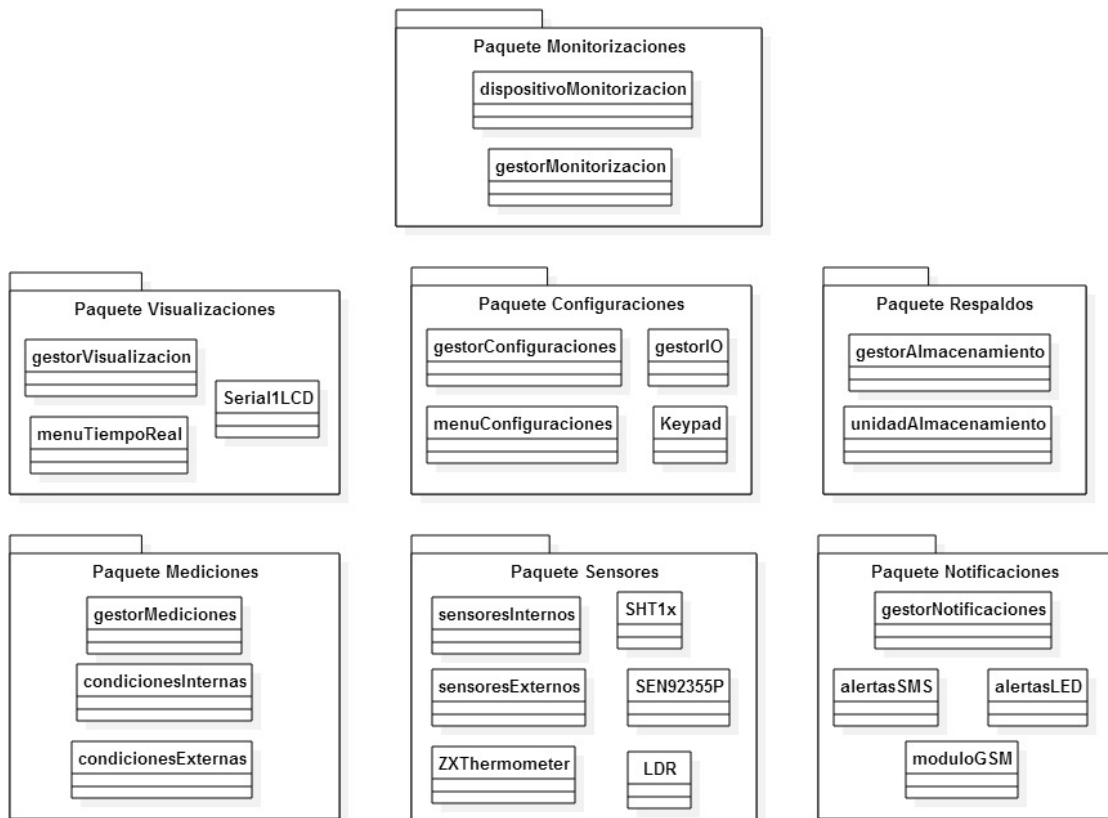


Figura 80: Diagrama de diseño de paquetes.

6.2.3.1. Descripción de paquetes

Dado los paquetes identificados en la Figura 80 se debe mencionar que estos se ubican conceptualmente en las distintas partes de la arquitectura del sistema, detallando sus características a continuación.

- **Paquete Monitorizaciones:** Contiene las clases encargadas de la coordinación y gestión de todos los componentes del sistema, además de la evaluación de los umbrales máximos de temperatura y humedad.

- **Paquete Visualizaciones:** Contiene las clases encargadas de mostrar información por medio de la pantalla conectada al equipo.
- **Paquete Configuraciones:** Contiene las clases encargadas de permitir el ingreso de datos al sistema por parte del usuario y la configuración de los parámetros por defecto.
- **Paquete Respaldos:** Contiene las clases encargadas de la persistencia de los datos obtenidos por el sistema.
- **Paquete Mediciones:** Contiene las clases encargadas del almacenamiento temporal de las condiciones obtenidas por los sensores.
- **Paquete Sensores:** Contiene las clases encargadas de obtener las condiciones registradas por los sensores conectados al equipo, dichas condiciones son:
 - Condiciones internas (dentro de los invernaderos)
 - Temperatura ambiental.
 - Humedad ambiental.
 - Temperatura del suelo.
 - Humedad del suelo.
 - Temperatura del agua.
 - Condiciones externas (fuera de los invernaderos)
 - Temperatura ambiental.
 - Humedad ambiental.
 - Luminosidad.
- **Paquete Notificaciones:** Contiene las clases encargadas del encendido de los LED de advertencia y del envío de las alertas tempranas vía SMS.

6.2.4. Diagrama de arquitectura de software

En esta sección se presenta el patrón de arquitectura de capas, dicho patrón organiza la estructura lógica del sistema a gran escala, separando las capas desde el punto de vista lógico en grupos conceptuales y con responsabilidades en común (Larman, 2004). Así se obtiene que las capas más bajas son servicios generales de bajo nivel y que las capas más altas son específicas de la aplicación. El modelo de

arquitectura empleado corresponde a un modelo de tres capas. Cabe que recordar que este software no pertenece a un sistema web o una plataforma local, sino que corresponde a un producto de hardware y software independiente, por lo que la descripción de las capas varía de la siguiente forma.

- **Capa de aplicación:** En esta capa se encuentran los paquetes encargados de controlar los componentes de interacción con el usuario, como por ejemplo las luces, pantalla y teclado.
- **Capa lógica:** En esta capa se encuentran los paquetes cuyas entidades se encargan de la lógica y control del equipo.
- **Capa de persistencia:** En esta capa se encuentran los paquetes donde sus entidades almacenan los registros obtenidos por el equipo en una tarjeta de memoria.

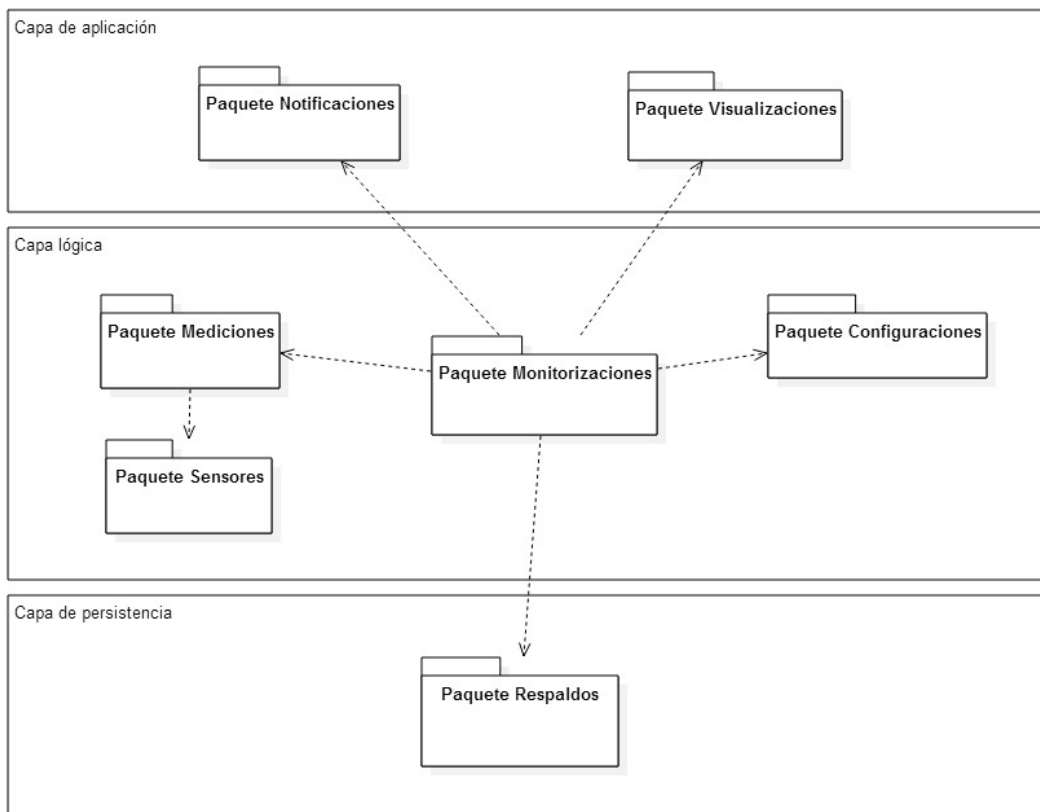


Figura 81: Diagrama de arquitectura de software.

6.2.5. Diagrama de estado

Los diagramas de estado son artefactos UML que representan una secuencia de estados por los que pasa una clase a lo largo de su ciclo de vida en el sistema. A continuación se presentan los estados generales y las acciones que producen el cambio de un estado a otro de la entidad “dispositivoMonitorizacion”, la cual se encargada de controlar y coordinar todos los componentes y funcionalidades del equipo.

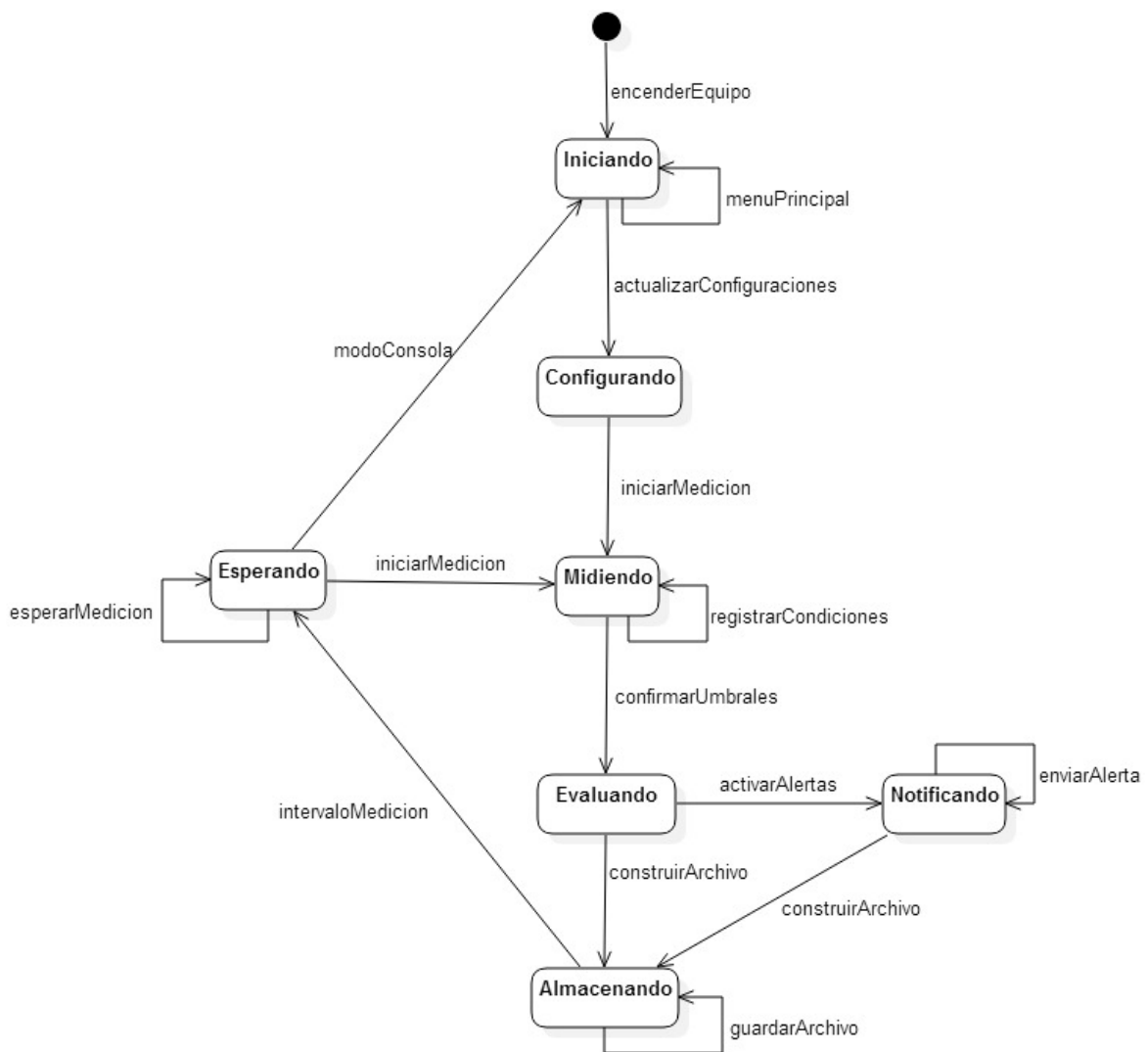


Figura 82: Diagrama de estados del dispositivo.

Como se puede observar en la imagen, no existe un estado final que termine la ejecución del dispositivo, esto se explica porque al ser ejecutado por una tarjeta Arduino, la placa genera un ciclo infinito (*loop*) donde la ejecución del software solo se detendrá cuando la placa sea desconectada de la alimentación eléctrica.

Respecto a los estados identificados en la imagen, estos son descritos de la siguiente forma.

- **Iniciando:** El dispositivo muestra un menú de opciones por medio de la pantalla conectada al equipo.
- **Configurando:** El dispositivo actualiza las configuraciones y parámetros del equipo.
- **Midiendo:** El dispositivo ha iniciado el proceso de medición y se encuentra registrando los datos obtenidos por los sensores.
- **Evaluando:** Una vez registrados los datos, los valores de temperatura y humedad son comparados con los umbrales máximos.
- **Notificando:** Si alguno de los valores supera el rango máximo se inicia el proceso de alertas.
- **Almacenando:** Una vez confirmado los datos o enviadas las alertas, el dispositivo almacena los registros en la unidad de almacenamiento.
- **Esperando:** Luego de almacenar los datos, el dispositivo espera un intervalo de tiempo definido para comenzar una nueva medición, permitiendo el retorno al estado inicial.

6.3. Implementación

Esta sección presenta la implementación de los modelos analizados anteriormente sobre la plataforma Arduino. Como el software fue desarrollado bajo la metodología de desarrollo iterativo, una de las ventajas de este método es que los resultados de cada iteración son datos iniciales para la iteración siguiente.

6.3.1. Desarrollo del modelo en Arduino

Las principales características de Arduino han sido descritas en el capítulo correspondiente al marco teórico, especificando su estructura de programación y la

creación de nuevas clases. Cabe destacar que la mayoría de clases mostradas en el diagrama de clases, fueron creadas a modo de librerías por el autor de esta memoria de título, exceptuando las descritas a continuación.

- **SHT1x:** Librería creada para el uso de los sensores de temperatura y humedad de las series SHT10, SHT11 y SHT15. Permite el control de las lecturas del sensor y la obtención de las condiciones captadas por este.
 - Archivo:
 - SHT1x.h
 - Disponible en: <https://github.com/practicalarduino/SHT1x>.
- **Keypad:** Librería creada para el uso de teclados matriciales. Permite la definición de las conexiones y pines de entrada, además del reconocimiento de las teclas presionadas en el teclado.
 - Archivo:
 - Keypad.h
 - Disponible en: <http://playground.arduino.cc/uploads/Code/keypad.zip>.

6.3.2. Implementación iterativa

La idea detrás de la implementación iterativa es desarrollar un sistema de manera incremental, permitiendo al desarrollador sacar ventaja de lo que se ha aprendido a lo largo de la iteración anterior. Como en el desarrollo del hardware del equipo se crearon distintos prototipos, el software se fue incrementando en base a cada versión prototípica del equipo.

Cabe destacar que los artefactos de software propuestos en los capítulos anteriores corresponden a los implementados en el prototipo final, por lo que en prototipos anteriores se utilizaron otros artefactos los cuales fueron refinados durante el transcurso de este proyecto hasta llegar al modelo final. Para una mejor descripción de las iteraciones, por cada prototipo se presenta su diagrama de paquetes, de modo de establecer las diferencias y mostrar la evolución de éste en contraste al diseño final.

6.3.2.1. Prototipo 1

Durante el periodo de funcionamiento de este prototipo se realizaron dos iteraciones significativas. A continuación se presenta el diagrama de paquetes del primer prototipo.

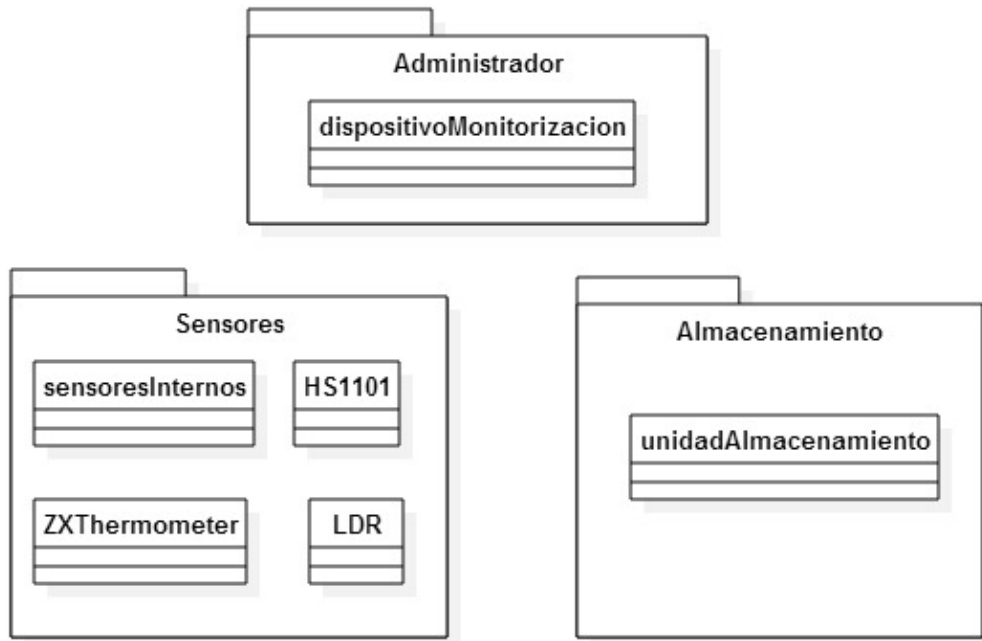


Figura 83: Diagrama de paquetes, prototipo 1.

6.3.2.1.1. Iteración 1: Lectura día/noche

El objetivo de la primera iteración de este prototipo fue realizar mediciones sólo de día, deteniendo la medición de condiciones durante la noche.

6.3.2.1.1.1. Paquetes implementados

Los paquetes implementados en esta iteración fueron los siguientes.

- **Administrador:** Se implementó la clase “dispositivoMonitorización”.
- **Sensores:** Se implementaron las clases “sensoresInternos”, “HS1101”, “ZXThermometer” y “LDR”.

6.3.2.1.1.2. Aspectos importantes

Al comparar el diagrama de paquetes del primer prototipo con la Figura 80 (diagrama de paquetes del prototipo final) se observan una serie de diferencias entre clases y paquetes, lo que es descrito a continuación.

- a) En el primer prototipo sólo se implementó la clase *sensoresInternos* del paquete “Sensores” ya que en esta versión del equipo no existían sensores externos y el dispositivo se encontraba físicamente dentro de los invernaderos.
- b) La clase *sensoresInternos* por su parte sólo interactuaba con las entidades “ZXThermometer”, “LDR” y “HS1101” (esta última fue eliminada en el segundo prototipo, ya que el sensor presentó deficiencias).
- c) Los paquetes y clases faltantes no estaban disponibles ya que fueron creadas en versiones posteriores a este equipo.
- d) El paquete Administrador fue transformado posteriormente en un nuevo paquete llamado “*Paquete monitorizaciones*”, debido a que el primero ejercía un control acoplado del equipo y no realizaba una distribución de tareas por medio de estados del dispositivo.

Las tareas realizadas en esta iteración fueron:

- Integración de librerías externas a Arduino.
- Operación de objetos (constructores, atributos y métodos).
- Obtención del valor de temperatura y humedad al interior de los invernaderos.
- Control de las mediciones durante el día.

Para el control de las mediciones durante el día se usó el sensor LDR el cual entrega valores entre 0 y 1023 según sea la intensidad de la luz, dado esto se usó un valor de 100 para la diferenciación entre el día y la noche.


```
boolean lightState() {  
    if (analogRead(A2) > 100) return true;  
    else return false;  
}
```

Figura 84: Extracto de código que permite la diferenciación entre el día y la noche, prototipo 1.

6.3.2.1.1.3. Resultados

Se logró el controlar el funcionamiento del equipo durante el día, sin embargo, fue necesario bajar el nivel de luz a 70, debido a que las mediciones comenzaban un poco después del amanecer, seguramente esto fue debido a la sombra ejercida por la estructura del propio invernadero y los árboles aledaños.

6.3.2.1.2. Iteración 2: Almacenamiento de datos

El objetivo de esta iteración fue realizar el correcto almacenamiento de los datos registrados en la unidad de almacenamiento.

6.3.2.1.2.1. Paquetes implementados

Los paquetes implementados en esta iteración fueron los siguientes.

- **Administrador:** Se implementó la clase “dispositivoMonitorización”.
- **Sensores:** Se implementó la clase “sensoresInternos”.
- **Almacenamiento:** Se implementó la clase “unidadAlmacenamiento”.

6.3.2.1.2.2. Aspectos importantes

En contraste al modelo final, se destaca lo siguiente:

- a) Sólo se implementó la clase *unidadAlmacenamiento* del paquete “Almacenamiento” debido a que el “gestorAlmacenamiento” fue creado en versiones posteriores a este equipo.
- b) Los paquetes y clases faltantes no estaban disponibles ya que fueron creadas en versiones posteriores a este equipo.

Las tareas realizadas en esta iteración fueron:

- Obtención de la hora y fecha del momento de medición.

- Almacenamiento de los valores de temperatura y humedad del interior de los invernaderos.

Para el almacenamiento de los datos se usó un solo archivo llamado "DATALOG.CSV" donde se concatenaron todas las mediciones realizadas por el equipo.

```
dataDay += now.year();
dataDay += '-';
dataDay += now.month();
dataDay += '-';
dataDay += now.day();
dataDay += ';';
dataDay += now.hour();
dataDay += ':';
dataDay += now.minute();

file_name = "DATALOG.CSV";

File dataFile = SD.open(file_name, FILE_WRITE);
```

Figura 85: Extracto de código para la identificación del día y hora de medición, además de la creación del archivo de respaldo.

6.3.2.1.2.3. Resultados

Se logró el almacenamiento efectivo de las condiciones registradas, sin embargo, la extensión del archivo dificultó la identificación de los días y horarios de las mediciones por lo que hubo que separar el archivo, creando uno por cada día de medición.

6.3.2.2. Prototipo 2

Durante el periodo de funcionamiento de este prototipo se realizaron tres iteraciones significativas. A continuación se presenta el diagrama de paquetes del segundo prototipo.

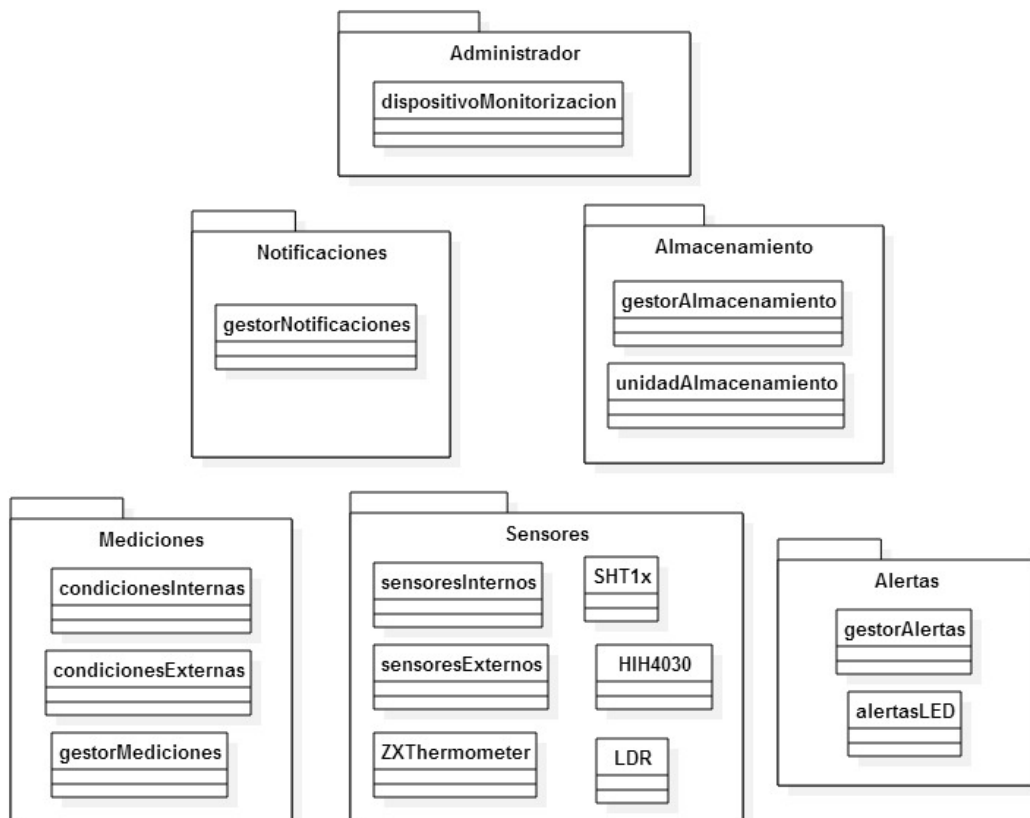


Figura 86: Diagrama de paquetes, prototipo 2.

6.3.2.2.1. Iteración 1: Sensores externos

El objetivo de esta iteración fue realizar mediciones tanto de las condiciones internas como externas de los invernaderos.

6.3.2.2.1.1. Paquetes implementados

Los paquetes implementados en esta iteración fueron los siguientes:

- **Administrador:** Se implementó la clase “dispositivoMonitorización”.
- **Almacenamiento:** Se implementaron las clases “gestorAlmacenamiento”, “unidadAlmacenamiento”.
- **Mediciones:** Se implementaron las clases “condicionesInternas”, “condicionesExternas” y “gestorMediciones”.
- **Sensores:** Se implementaron las clases “sensoresInternos”, “sensoresExternos”, “ZXThermometer”, “LDR”, “SHT1x”, “HIH4030”.

6.3.2.2.1.2. Aspectos importantes

Al comparar el diagrama de paquetes de este prototipo con el diseño final de paquetes se destaca lo siguiente:

- a) La clase *HIH4030* fue eliminada en el siguiente prototipo, debido a deficiencias en el sensor.
- b) Esta versión del equipo, el dispositivo fue colocada fuera de los invernaderos y contó con la presencia de sensores internos y externos.
- c) Los paquetes y clases faltantes no estaban disponibles ya que fueron creadas en versiones posteriores a este equipo.

Las tareas realizadas en esta iteración fueron:

- Registro del valor de temperatura y humedad tanto al interior como al exterior de los invernaderos.

6.3.2.2.1.3. Resultados

En una primera instancia los resultados fueron los esperados, sin embargo, luego de un par de semanas el sensor de humedad HIH4030 entregó valores de humedad sobre el 100% debido a su imprecisión, por lo que fue reemplazado en el siguiente prototipo.

6.3.2.2.2. Iteración 2: Mostrar información

El objetivo de esta iteración fue mostrar las mediciones captadas por los sensores mediante el empleo de una pantalla LCD conectada al equipo.

6.3.2.2.2.1. Paquetes implementados

Los paquetes implementados en esta iteración fueron los siguientes:

- **Administrador:** Se implementó la clase “dispositivoMonitorización”.
- **Almacenamiento:** Se implementaron las clases “gestorAlmacenamiento”, “unidadAlmacenamiento”.
- **Mediciones:** Se implementaron las clases “condicionesInternas”, “condicionesExternas” y “gestorMediciones”.

- **Sensores:** Se implementaron las clases “sensoresInternos”, “sensoresExternos”, “ZXThermometer”, “LDR”, “SHT1x”, “HIH4030”.
- **Notificaciones:** Se implementó la clase “gestorNotificaciones”.

6.3.2.2.2. Aspectos importantes

Al comparar los paquetes y clases implementadas en esta iteración con el diseño final de paquetes se destaca lo siguiente:

- a) Sólo se implementó la clase “*gestorNotificaciones*” del *Paquete Notificaciones* debido a que las clases “*Serial1LCD*” y “*menuTiempoReal*”, fueron implementadas en la tercera versión del equipo.
- b) La clase “*gestorNotificaciones*” permitía la comunicación con una pantalla LCD por medio de una comunicación serial estándar (pines 0 y 1), lo que después fue refinado a una comunicación serial diferente.
- c) Los paquetes y clases faltantes no estaban disponibles ya que fueron creadas en versiones posteriores a este equipo.

Las tareas realizadas en esta iteración fueron:

- Manejar la comunicación serial de Arduino para el control de componentes.
- Mostrar las condiciones de temperatura y humedad (tanto internas como externas) al usuario por medio de una pantalla LCD.

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
}
```

Figura 87: Extracto de código para el inicio de la comunicación serial estándar (pines 0 y 1) con un baudaje de 9600.

6.3.2.2.3. Resultados

Se logró implementar una comunicación serial con la pantalla LCD, indicando por cada momento de medición los valores de temperatura y humedad obtenidos por los sensores.

6.3.2.2.3. Iteración 3: Panel LED

El objetivo de esta iteración fue controlar el encendido de luces de advertencia dispuestas en un panel LED en el equipo, de esta forma se pretendió alertar al usuario cuando las condiciones de temperatura y/o humedad superen los umbrales normales.

6.3.2.2.3.1. Paquetes implementados

Los paquetes implementados en esta iteración fueron los siguientes:

- **Administrador:** Se implementó la clase “dispositivoMonitorización”.
- **Almacenamiento:** Se implementaron las clases “gestorAlmacenamiento”, “unidadAlmacenamiento”.
- **Mediciones:** Se implementaron las clases “condicionesInternas”, “condicionesExternas” y “gestorMediciones”.
- **Sensores:** Se implementaron las clases “sensoresInternos”, “sensoresExternos”, “ZXThermometer”, “LDR”, “SHT1x”, “HIH4030”.
- **Notificaciones:** Se implementó la clase “gestorNotificaciones”.
- **Alertas:** Se implementó la clase “alertasLED”.

6.3.2.2.3.2. Aspectos importantes

Al comparar los paquetes y clases implementadas en esta iteración con el diseño final de paquetes se destaca lo siguiente:

- a) El *Paquete Alertas* fue refinado posteriormente al *Paquete Notificaciones*, el cual incluye las clases necesarias para el control de los LED de advertencia y el envío de notificaciones SMS.
- b) Sólo se implementó la clase *alertasLED* debido a que las demás clases de dicho paquete fueron desarrolladas en una versión posterior del equipo.
- c) Los paquetes y clases faltantes no estaban disponibles ya que fueron creadas en versiones posteriores a este equipo.

Las tareas realizadas en esta iteración fueron:

- Control de luces LED conectadas a Arduino.

```

void Alertas::controlAlertas (float tmp, float hum) {
  if (tmp > intv_temperatura[1] || tmp < intv_temperatura[0]) {
    digitalWrite(ledAlertaTemperatura, HIGH);
  }
  else {
    digitalWrite(ledAlertaTemperatura, LOW);
  }

  if (hum > intv_humedad[1] || hum < intv_humedad[0]) {
    digitalWrite(ledAlertaHumedad, HIGH);
  }
  else {
    digitalWrite(ledAlertaHumedad, LOW);
  }
}

```

Figura 88: Extracto de código para el encendido y apagado de las alertas LED, prototipo 2.

6.3.2.2.3.3. Resultados

La implementación de luces de advertencia permitió a los usuarios saber cuándo las condiciones dentro de los invernaderos son perjudiciales, sin embargo, debían trasladarse hacia el equipo para poder observarlas por lo que fue necesaria la implementación de alertas que llegaran al usuario sin la necesidad de estar manipulando el dispositivo.

6.3.2.3. Prototipo 3:

Este prototipo implementa finalmente el diseño completo del diagrama de paquetes de la Figura 80, ya que corresponde a la versión final del equipo. Durante el periodo de funcionamiento de este prototipo se realizaron tres iteraciones significativas, las cuales son descritas a continuación.

6.3.2.3.1. Iteración 1: Sensores suelo/agua

El objetivo de esta primera iteración fue capturar las medidas de temperatura y humedad del suelo, además de la temperatura del agua que circulaba por las mangueras gracias a la integración de nuevos sensores.

6.3.2.3.1.1. Paquetes implementados

Los paquetes implementados en esta iteración fueron los siguientes:

- **Monitorizaciones:** Se implementó la clase “dispositivoMonitorizacion”, “gestorMonitorizacion”.
- **Respaldos:** Se implementaron las clases “gestorAlmacenamiento”, “unidadAlmacenamiento”.
- **Mediciones:** Se implementaron las clases “condicionesInternas”, “condicionesExternas”, “gestorMediciones”.
- **Sensores:** Se implementaron las clases “sensoresInternos”, “sensoresExternos”, “SHT1x”, “ZXThermometer”, “LDR”, “SEN92355P”.
- **Visualizaciones:** Se implementaron las clases “gestorVisualizaciones”, “menuTiempoReal”, “Serial1LCD”.
- **Notificaciones:** Se implementaron las clases “gestorNotificaciones”, “Alertas LED”.

6.3.2.3.1.2. Aspectos importantes

En este prototipo se utilizó una pantalla LCD más grande que en el prototipo anterior, de esta forma, se pudo mostrar todas las condiciones registradas por el equipo de forma simultánea, en cuanto a su control, se utilizó la clase “*Serial1LCD*” del *Paquete Visualizaciones*.

Las tareas realizadas en esta iteración fueron:

- Utilización de la librería Serial1LCD para el control de la pantalla LCD.
- Registro de las condiciones de temperatura del suelo, humedad del suelo y temperatura del agua al interior de los invernaderos.


```

String registrarCondiciones() {
    cInternas->registrarTemperaturaInterna();
    delay(10);
    cInternas->registrarHumedadInterna();
    delay(10);
    cExternas->registrarTemperaturaExterna();
    delay(10);
    cExternas->registrarHumedadExterna();
    delay(10);
    cInternas->registrarTemperaturaSuelo();
    delay(10);
    cInternas->registrarHumedadSuelo();
    delay(10);
    cInternas->registrarTemperaturaAgua();
    delay(10);
    cExternas->registrarLuminosidadExterna();
    delay(10);

    guardarMediciones = true;

    return "evaluando";
}

```

Figura 89: Extracto de código para el registro de las condiciones internas y externas de los invernaderos, prototipo final.

6.3.2.3.1.3. Resultados

El control de la pantalla no tuvo mayores inconvenientes, debido que la clase *Serial1LCD* contiene todos los métodos necesarios para interactuar con la pantalla. Por otro lado, los nuevos sensores también entregaron buenos resultados, permitiendo la captura y registro de las condiciones ya mencionadas.

6.3.2.3.2. Iteración 2: Ingreso de información

El objetivo de esta iteración fue permitir el ingreso de información al equipo por medio de un teclado conectado al dispositivo.

6.3.2.3.2.1. Paquetes implementados

Los paquetes implementados en esta iteración fueron los siguientes:

- **Monitorizaciones:** Se implementó la clase “dispositivoMonitorizacion”, “gestorMonitorizacion”.
- **RespalDOS:** Se implementaron las clases “gestorAlmacenamiento”, “unidadAlmacenamiento”.
- **Mediciones:** Se implementaron las clases “condicionesInternas”, “condicionesExternas”, “gestorMediciones”.
- **Sensores:** Se implementaron las clases “sensoresInternos”, “sensoresExternos”, “SHT1x”, “ZXThermometer”, “LDR”, “SEN92355P”.
- **Visualizaciones:** Se implementaron las clases “gestorVisualizaciones”, “menuTiempoReal”, “Serial1LCD”.
- **Notificaciones:** Se implementaron las clases “gestorNotificaciones”, “Alertas LED”.
- **Configuraciones:** Se implementaron las clases “gestorConfiguraciones”, “menuConfiguraciones”, “Keypad”, “gestorIO”.

6.3.2.3.2. Aspectos importantes

Las tareas realizadas en esta iteración fueron las siguientes:

- Interacción entre el equipo y el usuario mediante un teclado de membrana.
- Desarrollo de un menú de opciones.
- Captura e ingreso de información al equipo.
- Modificación de atributos según los datos capturados desde el teclado.

```
// Menú parte 1
menu[0] = String("A-Iniciar medicion");
menu[1] = String("B-Ajustar intervalo");
menu[2] = String("C-Ajustar umbrales");

// Menú parte 2
menu[3] = String("A-Cambiar telefono");
menu[4] = String("B-Reiniciar GSM");
menu[5] = String("C-Creditos");
```

Figura 90: Extracto de código del menú de configuraciones, prototipo final.

6.3.2.3.2.3. Resultados

El teclado de membrana entregó una buena respuesta, sin embargo, posteriormente fue conectado un *buzzer*, componente que permite emitir un sonido cada vez que una tecla era presionada, de este modo el usuario podía percatarse cuando ingresaba algún tipo de información.

6.3.2.3.3. Iteración 3: Envío de alertas

El objetivo de esta iteración fue implementar el envío de alertas vía SMS a usuario, de este modo se informó a este cuando las condiciones dentro de los invernaderos fueran desfavorables, sin necesidad de manipular el dispositivo.

6.3.2.3.3.1. Paquetes implementados

Los paquetes implementados en esta iteración fueron los siguientes:

- **Monitorizaciones:** Se implementó la clase “dispositivoMonitorizacion”, “gestorMonitorizacion”.
- **Respaldos:** Se implementaron las clases “gestorAlmacenamiento”, “unidadAlmacenamiento”.
- **Mediciones:** Se implementaron las clases “condicionesInternas”, “condicionesExternas”, “gestorMediciones”.
- **Sensores:** Se implementaron las clases “sensoresInternos”, “sensoresExternos”, “SHT1x”, “ZXThermometer”, “LDR”, “SEN92355P”.
- **Visualizaciones:** Se implementaron las clases “gestorVisualizaciones”, “menuTiempoReal”, “Serial1LCD”.
- **Notificaciones:** Se implementaron las clases “gestorNotificaciones”, “AlertasLED”, “AlertasSMS”, “moduloGSM”.
- **Configuraciones:** Se implementaron las clases “gestorConfiguraciones”, “menuConfiguraciones”, “Keypad”, “gestorIO”.

6.3.2.3.3.2. Aspectos importantes

Esta iteración culmina todos los procesos anteriores, dando como resultado la versión final del equipo.

Las tareas realizadas en esta iteración fueron las siguientes:

- Control de un dispositivo GSM para el envío de SMS.
- Construcción de un mensaje de alerta y envío de este un número telefónico determinado.

```
void enviarAlerta(String mensaje, String telefono) {  
    Serial.println("AT+CMGF=1");  
    delay(500);  
  
    Serial.println("AT+CMGS=\""+telefono+"");  
    delay(500);  
  
    Serial.print(mensaje);  
    delay(1000);  
  
    Serial.println((char)26);  
    delay(3000);  
}
```

Figura 91: Extracto de código para el envío de alertas.

6.3.2.3.3.3. Resultados

Se logró implementar de forma satisfactoria el envío de alertas vía SMS al usuario, sin embargo, es necesaria la recarga del chip de teléfono luego de cierto periodo para que no se interrumpa el servicio de alertas.

7. PRUEBAS Y TESTING

Una de las principales etapas del desarrollo de un producto de software corresponde a la etapa de pruebas, permitiendo evaluar la calidad, usabilidad, o tolerancia a fallos del sistema. En este trabajo se han realizado pruebas tanto del software como al hardware del equipo, identificando las principales situaciones que generan problemas en el equipo, y cómo éste ha sido configurado para lidiar y solucionar dichas situaciones.

7.1. Adecuación de sensores

Varios de los sensores utilizados en este proyecto venían listos para su instalación y funcionamiento, sin embargo, en el caso de los SHT15 utilizados en la medición de las condiciones internas y externas de los invernaderos fue necesario realizar un proceso de climatización para la correcta lectura de los valores de humedad.

7.1.1. Climatización

El proceso de climatización contempla un periodo de tiempo (aproximadamente dos horas) en el cual se expone al sensor a una alta humedad (sobre el 75%) lo que permite que el polímero se rehidrate.



Figura 92: Climatización de los sensores SHT15.

Para climatizar los sensores SHT15, éstos fueron fijados sobre una taza con agua hirviendo, dejando que el vapor invadiera al sensor, renovando el agua cada vez que el vapor descendía considerablemente.

7.1.2. Extensión

En cuanto a la instalación del equipo, los prototipos 2 y 3 se colocaron fuera de los invernaderos. Este posicionamiento exterior requirió la extensión del sensor interno hacia dentro de la estructura de los invernaderos, para ello se usó un cable con el mismo calibre que las conexiones interiores del equipo (22 AWG). Dicho cable fue colocado dentro de un *cordón conductor* de aproximadamente 50 metros.

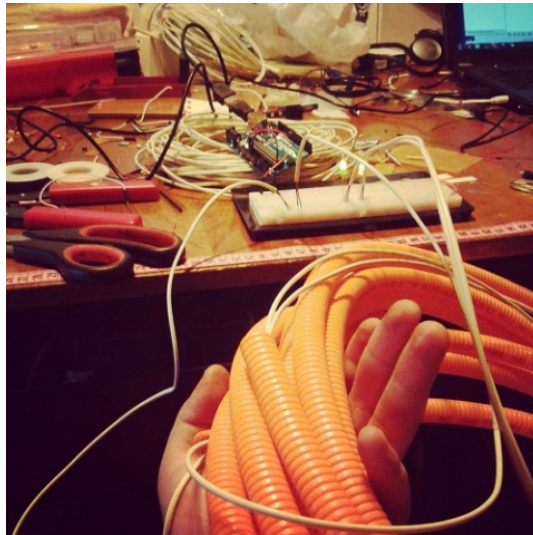


Figura 93: Pruebas de extensión del sensor interno.

Se generaron cuatro secciones de 12 metros y fracción cada una, con tres puntos de conexión entre ellas. Se realizaron pruebas de lectura para verificar los valores del sensor extendido versus otro conectado a la placa Arduino, ambos sensores entregaron prácticamente los mismos valores con una diferencia de 0 a 0,1 grados entre medidas. Dado lo anterior esto no se consideró como un error de extensión, por lo que se finalmente se consideró que una extensión de 50 metros no influye negativamente sobre las medidas captadas por el sensor ni tampoco en su tiempo de lectura.

7.2. Pruebas de intervalos de medición

En cuanto a las pruebas para definir los intervalos de medición, cada vez que se conectó un nuevo sensor se evaluó el intervalo de medición, de manera de identificar el tiempo mínimo que requería el equipo entre una medición y otra.

En este sentido, se generó la siguiente tabla comparativa con los tiempos mínimos empleados por los distintos sensores.

Acción	Componentes involucrados	Tiempo empleado (s)
Medir temperatura interna	SHT15 Interno	2 – 4
Medir humedad interna	SHT15 Interno	2 – 4
Medir temperatura externa	SHT15 Externo	2 – 4
Medir humedad externa	SHT15 Externo	2 – 4
Medir temperatura agua	ZX-Thermometer Agua	0 – 1
Medir temperatura suelo	ZX-Thermometer Suelo	0 – 1
Medir humedad suelo	SEN92355P	0 – 1
Medir luminosidad	LDR	0 – 1
Enviar alertas	XBee Shield, GPRSBee	5 – 10
Almacenar datos	Arduino Logger Shield, microSD	0 – 2
	Total máximo	32

Tabla 25: Acciones y tiempos empleados.

La tabla anterior contempla todas las acciones que realiza el equipo por cada medición, al sumar los tiempos máximos de ejecución de cada una se obtiene un total de 32 segundos empleados en cada medición. Si bien las alertas no se envían en cada momento de medición, de igual manera se consideran como parte de los tiempos empleados, ya que el equipo las genera por lo menos una vez al día. Frente a este tiempo se ha determinado que el intervalo mínimo de medición es de 1 minuto, lo que permite tener un margen de aproximadamente 28 segundos para la agregación de nuevos componentes, captación y procesamiento de errores, o la implementación de nuevas prestaciones al sistema.

7.3. Configuración inicial del equipo

Si bien el equipo cuenta con un menú de opciones a las cuales el usuario puede acceder por medio del teclado conectado al equipo para configurar distintos parámetros de este, muchas veces durante el tiempo de funcionamiento se provocaron cortes de luz en la zona donde se realizó este proyecto. Esto es normal, ya que en zonas rurales suele cortarse el suministro de luz por lo menos un día cada uno o dos meses. Por otro lado, la electricidad que llegaba a la caseta desde donde se extiende la conexión eléctrica del equipo cuenta con un “*automático*” cerca de la casa de los agricultores, por lo que muchas veces para cortar el motor de agua apagaban dicho automático, dejando sin conexión eléctrica a la caseta y por ende al equipo. Frente a estos casos, fue necesario configurar el equipo de forma que cuando ocurriera un corte de luz este pudiera retomar las tareas de medición sin problemas, es por ello que el intervalo de medición, umbrales, número de teléfono y el modo de inicio vienen previamente configurados de la siguiente forma:

Parámetro	Valor inicial
Estado del sistema	Midiendo
Intervalo de medición	1 minuto
Umbral mínimo de temperatura	18°C
Umbral máximo de temperatura	30°C
Umbral mínimo de humedad	60%
Umbral máximo de humedad	80%
Umbral de luz	70
Número de teléfono	+56962082398
Modo	Lectura

Tabla 26: Configuraciones iniciales del equipo.

Cabe destacar que el “*Estado del sistema*” se refiere al estado que puede adquirir el equipo, éstos han sido previamente definidos en la sección 6.2.5. Lo importante en este caso fue determinar el estado inicial del dispositivo, en este sentido, se destacan dos estados primordiales como iniciadores del sistema, “Iniciando” o “Midiendo”. Al definir el primero como estado inicial, el equipo muestra el menú de configuraciones y espera que el usuario inicie el proceso de medición, por otro lado, al definir el

segundo como estado inicial, el equipo inicia el proceso de medición con las configuraciones iniciales, midiendo automáticamente cada vez que se haya completado el intervalo de medición, de este modo, debido a los problemas asociados a los cortes de luz, se determinó al estado “Midiendo” como fase inicial del sistema. El intervalo de medición corresponde al tiempo empleado entre una medición y otra. El equipo viene configurado con el tiempo mínimo correspondiente a 1 minuto entre cada medición. En el caso de los umbrales, éstos corresponden a los máximos y mínimos reportados por la literatura (véase Introducción sección 1.1.2 Condiciones climáticas). En cuanto al número de teléfono este corresponde al dispositivo al cual llegarán las alertas vía mensajes de texto, donde el número registrado corresponde al teléfono celular del agricultor.

Gracias a estos parámetros iniciales, cada vez que ocurre un corte de luz, el equipo es capaz de iniciar automáticamente el proceso de medición con dichos parámetros, por lo que no existe necesidad iniciarlo manualmente cada vez que ocurre dicha situación.

7.4. Pruebas de caja negra

En cuanto a las pruebas de caja negra, éstas generalmente se fueron realizadas de forma inconsciente cada vez que se interactuaba con el equipo, ya que era normal el ingreso de parámetros o valores erróneos.

Para una prueba formal se listaron una serie de parámetros erróneos que fueron ingresados al equipo, hay que recordar que la interacción con el equipo sólo se efectúa cuando se configura alguno de los parámetros por defecto, ya que todos los demás procesos son realizados de manera automática, en este sentido, a continuación se presenta una tabla con las principales acciones de configuración, los parámetros erróneos ingresados y su respuesta.

Acción	Parámetro erróneo	Respuesta
Modificar fecha/hora	Letra	El sistema no permite caracteres.
Modificar teléfono	Letra	El sistema no permite

		caracteres.
Modificar umbrales	Letra	El sistema no permite caracteres.
Modificar intervalo de medición	Valor 0	El sistema no permite valores menores a 1.
	Letra	El sistema no permite caracteres.

Tabla 27: Pruebas de caja negra (entradas y salidas).

Cuando se encuentra en error por medio de una salida no esperada o un comportamiento no deseado, se pasa al proceso de depuración (*debugging*) del código fuente, de esta manera se puede determinar una modificación o cambio del algoritmo que entrega problemas. Frente a esto, trabajar con Arduino es más complicado que sobre otras plataformas comunes como computadores, smartphones, entre otros, ya que no existen programas que ayuden al proceso de depuración, por lo que esta tarea deber ser realizada por el desarrollador desde el reconocimiento del problema, hasta su solución.

8. ESCENARIO DE PRUEBAS

El escenario de pruebas describe las condiciones específicas del entorno en el que fue implementada la solución desarrollada en este proyecto.

8.1. Invernaderos

Los invernaderos estudiados corresponden a estructuras construidas por los mismos agricultores. Éstos se encuentran emplazados en el sector rural de Unihue al sur de la Ciudad de Talca y próximo a la comuna de Maule.

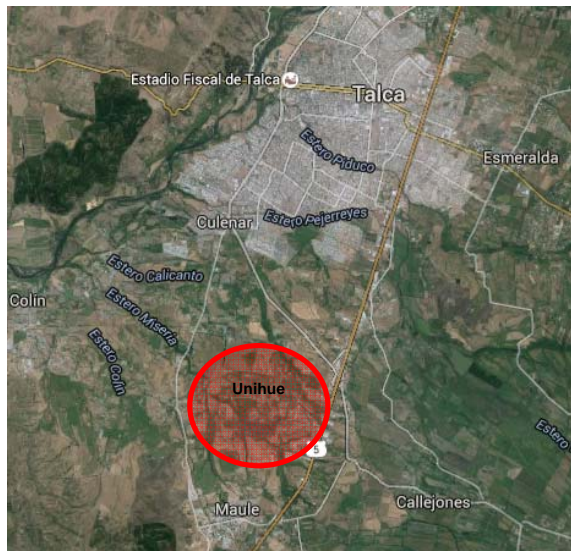


Figura 94: Imagen satelital del sector de Unihue.

8.1.1. Materiales

Los materiales utilizados en la construcción de los invernaderos son principalmente polietileno (nylon) y madera. Dentro de este último grupo se encuentran palos (*polines*), los cuales se usan a modo de pilares, y tablas las cuales conectan dichos pilares. Usualmente se usan polines de 2,4 metros en toda la estructura, tablas de 2,4 metros para las uniones laterales y tablas de 3,2 metros para las uniones superiores (techo). El pilar central lleva una tabla clavada para lograr el alto requerido. Por otro lado, para la fijación del plástico a la estructura se usan tablas mucho más pequeñas nombradas por los agricultores como *tablillas*, éstas son de

variados largos y su ancho es de aproximadamente 1 pulgada. En cuanto al nylon empleado, éste se compra por rollos de variado peso (generalmente rollos de 50 kilogramos). Para la envoltura lateral se usan rollos dobles de 1,1 metros y para el techo rollos dobles de 1,75 metros, con un espesor de 0,1 para ambos casos.



Figura 95: Ejemplo de estructura principal de los invernaderos.

8.1.2. Dimensiones

La estructura diseñada es de tipo “capilla”, cuyas dimensiones son las siguientes.

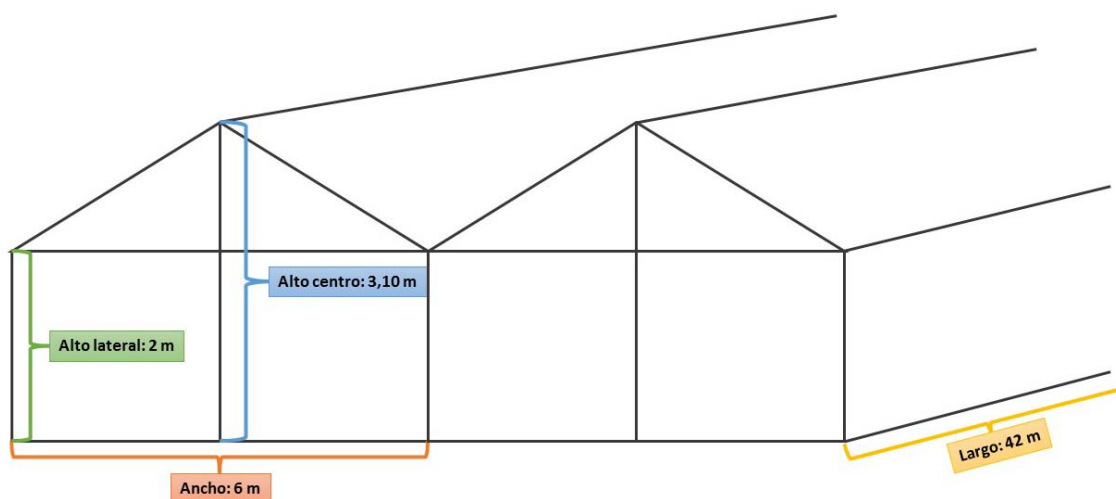


Figura 96: Dimensiones de los invernaderos estudiados.

Cabe destacar que el número de invernaderos que están conectados es de 10 “naves”, es decir, el ancho total de la estructura corresponde aproximadamente a 60

metros. Por otro lado, como su largo es de 42 metros, el área total de terreno bajo la estructura es de 2.520 m².

8.1.3. Cortinas de ventilación

En cuanto a la ventilación de la estructura, los agricultores instalan cortinas móviles en la parte delantera y trasera de los invernaderos. Éstas son abiertas durante períodos alta insolación, y cerradas cuando la temperatura desciende.

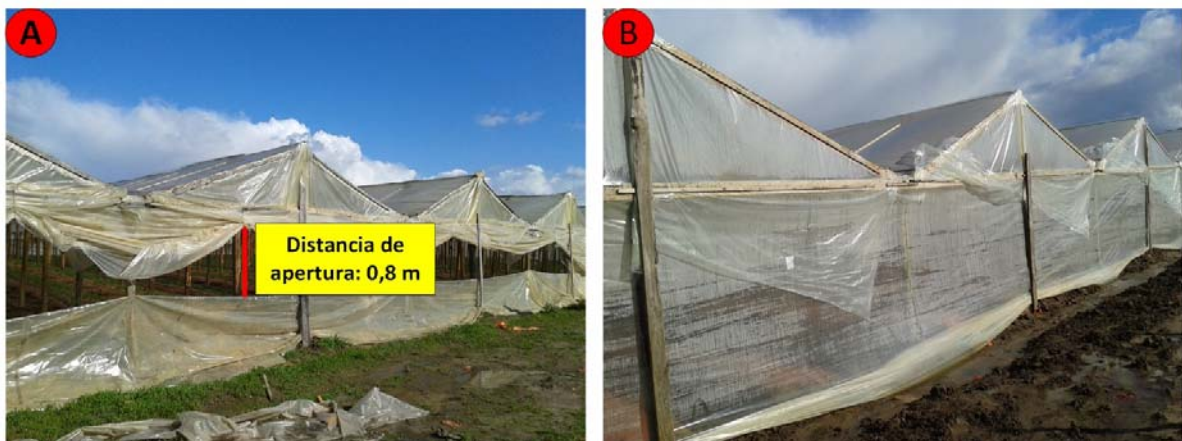


Figura 97: Cortinas de los invernaderos. [A] Cortinas abiertas (ventilación natural), [B] Cortinas cerradas (invernaderos no ventilados).

La parte (A) de la Figura anterior muestra que existen dos puntos de ventilación por invernadero, cuya apertura aproximada es de 0,8 metros. Esto debido a que en los invernaderos se coloca una protección para evitar el ingreso de animales, la cual se extiende desde el suelo y mide aproximadamente 1 metro. Una vez comenzado el proceso de floración dicha protección es retirada, aumentando la apertura de las cortinas a 1,8 metros.

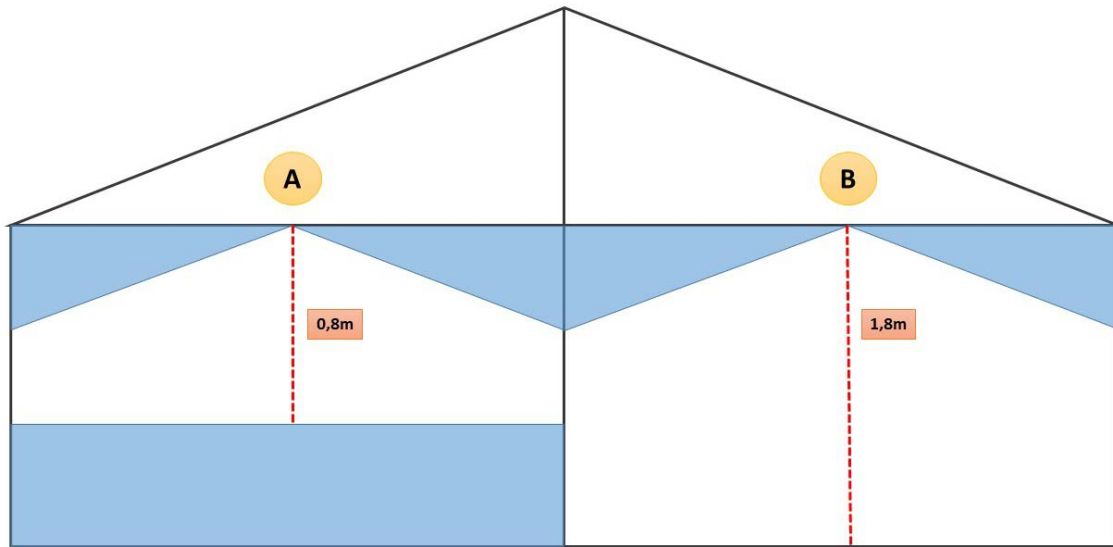


Figura 98: Esquema de cortinas de ventilación. [A] apertura con protección para animales, [B] apertura sin protección para animales.

8.2. Plantas

Las plantas cultivadas en los invernaderos corresponden a la variedad *Ichiban*, cuya población por invernadero es de aproximadamente 800 plantas, es decir, en las 10 *naves* se tiene un total aproximado de 8.000 plantas de tomates, las cuales son distribuidas en acolchados de plástico dentro de la estructura.



Figura 99: Plantas de tomate en proceso de trasplante.

8.2.1. Acolchado de plástico

Existen tres acolchados por invernadero, cuya distribución es la siguiente.

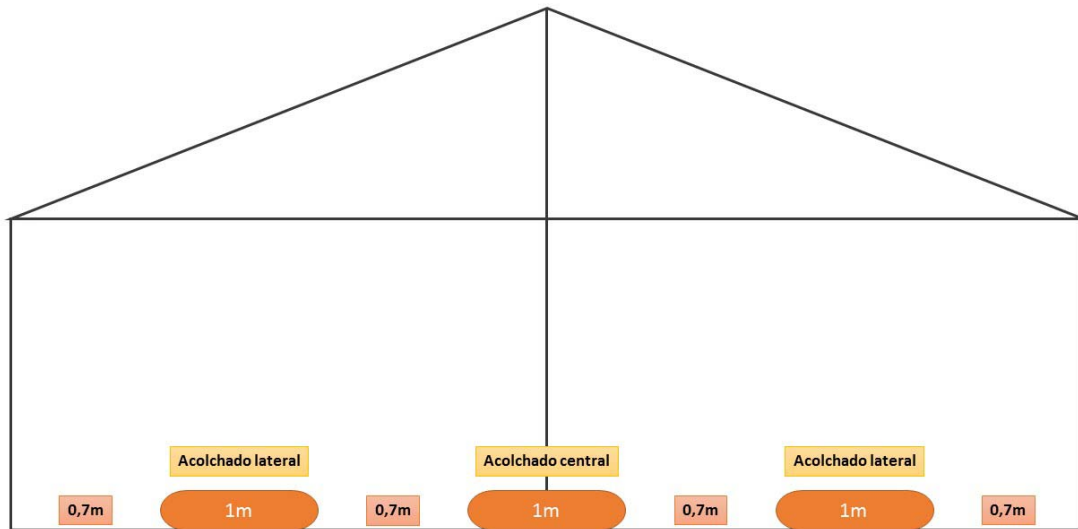


Figura 100: Distribución de acolchados plásticos en los invernaderos.



Figura 101: Distribución de plantas en los acolchados de plástico.

Como se observa en las imágenes anteriores, existen 3 acolchados plásticos por invernadero, con un ancho aproximado de 1 metro y un largo de 40 metros. Por otro lado, las plantas son dispuestas de tal manera que forman dos filas por cada acolchado. La distancia entre plantas es de aproximadamente 0,3 metros a lo largo y 0,25 metros hacia el lado.

8.3. Riego

El riego es realizado por medio de un sistema de gotero, para ello, el acolchado central cuenta con 4 mangueras (comúnmente llamadas *cintas*) en su interior, y los acolchados laterales llevan 3 cintas. El agua es transportada por un manguera de *planza* de aproximadamente 2 pulgadas, a la cual se le introducen una serie de conectores permitiendo asegurar las cintas de goteo.



Figura 102: Conectores para cintas de goteo introducidos en la manguera (planza) transportador de agua hacia los invernaderos.



Figura 103: Ejemplo de distribución de las cintas de goteo en el acolchado central.

En cuanto a la frecuencia de riego, ésta depende básicamente si las plantas se encuentran en un período previo a la cosecha o posterior a esta.

Período	Frecuencia (veces)	Tiempo
Precosecha	2	10 – 15 minutos (Mañana y tarde)
Cosecha	1	20 – 30 minutos (Mañana)

Tabla 28: Frecuencias y tiempos de riego.

8.4. Caseta

Los invernaderos cuentan con una caseta a una distancia aproximada de 10 metros. En ella se encuentra el motor de regadío y una conexión eléctrica. El agua para regadío es extraída de un pozo que está ubicado al lado de la caseta.



Figura 104: Pozo de extracción de agua para el riego de los invernaderos.

8.4.1. Motor de riego

El motor utilizado tiene una potencia de 2HP, succiona el agua desde el pozo y la transporta por un tubo de PVC de aproximadamente 2 pulgadas hasta la planza, siendo esta última la que finalmente la distribuye a las cintas de goteo.



Figura 105: Motor de regadío.

8.5. Solución implementada

Los invernaderos están orientados de norte a sur, donde la solución implementada fue ubicada a un costado de la estructura a una distancia aproximada de un metro. Por otro lado, se extendió una conexión eléctrica desde la caseta hasta el equipo de aproximadamente 10 metros.



Figura 106: Ubicación de la solución. [A] Invernaderos (orientación norte-sur), [B] posición de la caseta, [C] posición del equipo.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los equipos implementados realizaron un total aproximado de 400.000 mediciones efectivas entre los meses de septiembre de 2014 y febrero de 2015. Frente a esto, es importante destacar que los meses de septiembre y octubre corresponden al período de floración y cosecha, donde el fruto aún se encontraba en desarrollo, por otro lado, los meses de noviembre, diciembre, enero y parte de febrero corresponden a los meses de producción y cosecha del tomate, donde a fines del mes de febrero finaliza la producción con el retiro de las plantas y la renovación del terreno.

9.1. Variación de temperatura interna y externa

Ciertamente la temperatura juega un rol muy importante en el desarrollo del cultivo, es por ello que esta condición fue considerada como parte fundamental de las mediciones desde el inicio de este proyecto. A continuación se presentan los promedios mensuales de temperatura registrados tanto dentro como fuera de los invernaderos, es importante destacar que en el mes de septiembre sólo se considera el promedio de temperatura interna, debido a que en dicho período estaba en funcionamiento el primer prototipo, el cual no contaba con sensores externos.

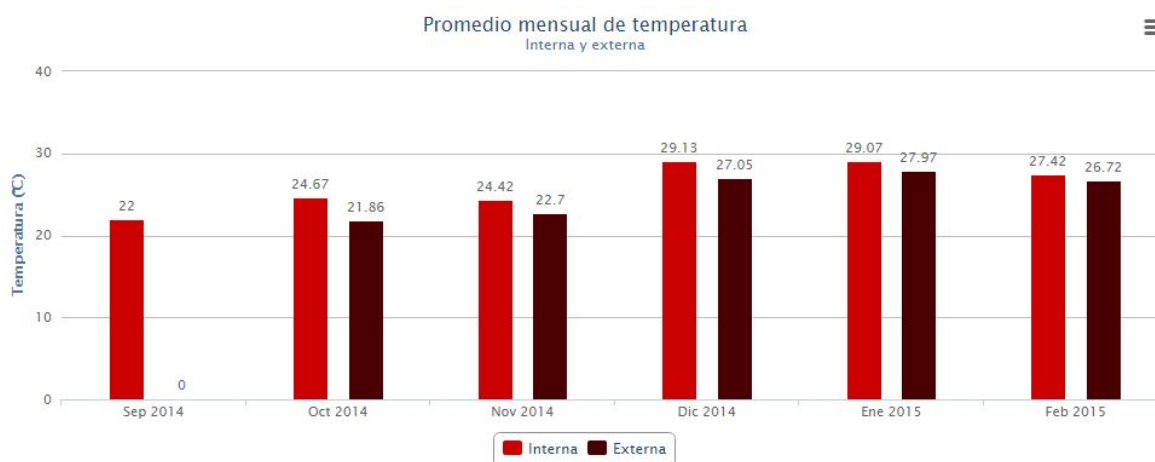


Figura 107: Promedios mensuales de temperatura interna y externa.

Al analizar la variación de la temperatura interna y externa se puede observar claramente que los meses de diciembre, enero y febrero presentan los mayores registros de temperatura mensual. Para confirmar esta afirmación, se compararon los valores externos de dichos meses con los reportados por la *Dirección de Meteorología de Chile*⁹ en su informe de “Productos Climatológicos Anuales e Históricos” para la Región del Maule, obteniendo los siguientes resultados.

Mes	Año	Temperatura externa registrada por los equipos (°C)	Valor reportado por la Dirección Meteorológica de Chile (°C)	Diferencia absoluta ¹⁰ (°C)
Septiembre	2014	-	17,2	-
Octubre	2014	21,9	22,9	1
Noviembre	2014	22,7	25	2
Diciembre	2014	27,1	27,8	1
Enero	2015	28,0	31,3	3
Febrero	2015	26,7	30,2	3

Tabla 29: Comparativa entre la temperatura externa registrada por los equipos y la reportada por la Dirección Meteorológica de Chile.

Como se aprecia en la tabla anterior, efectivamente los meses de diciembre, enero y febrero presentaron las mayores temperaturas. Si bien existe una diferencia absoluta de entre 1 y 3°C entre las temperaturas registradas por los equipos y las reportadas por la Dirección Meteorológica de Chile, esto podría deberse a que la estación climatológica de este organismo se encuentra ubicada en la zona de Curicó, aproximadamente a 70 kilómetros del equipo implementado.

⁹ <http://www.meteochile.gob.cl/>

¹⁰ Valores redondeados al entero superior más cercano.

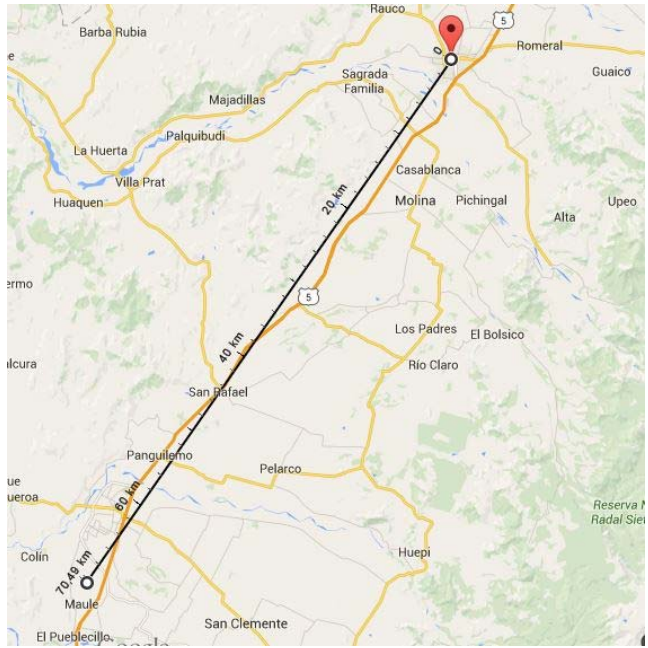


Figura 108: Distancia aproximada entre la estación General Freire de la Dirección Meteorológica de Chile y la solución implementada (sector Unihue).

En los meses identificados anteriormente, muchas de las medidas registradas por los equipos superan el umbral establecido en literatura (30 °C), llegando inclusive a temperaturas extremas por sobre los 40°C al interior de la estructura (Figura 109).

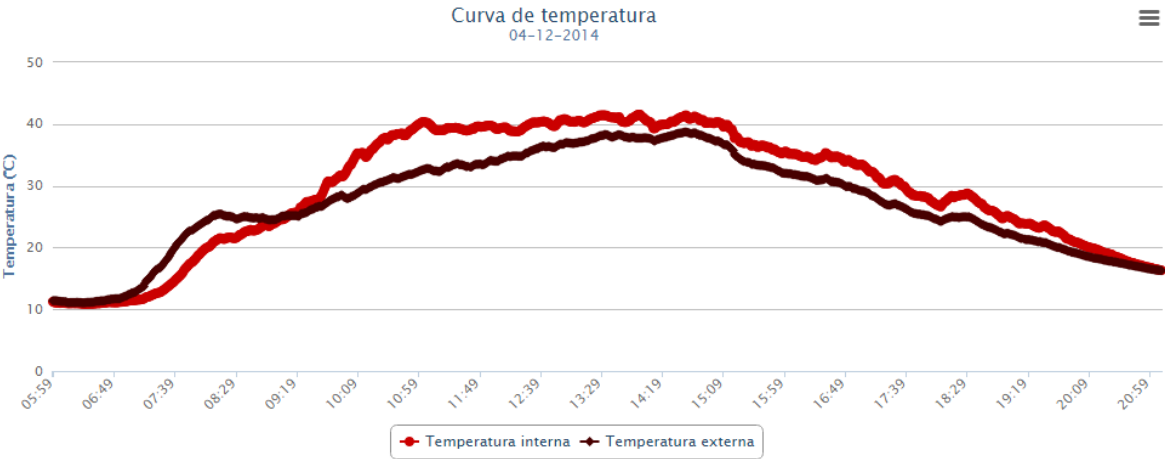


Figura 109: Curvas de temperatura interna y temperatura externa del día 04-12-2014.

En la imagen se puede apreciar la curva de temperatura interna y externa del día 04 de diciembre de 2015, mes en el cual los invernaderos se encontraban en proceso

de producción de tomates (cosecha). En dicha imagen se puede constatar como la temperatura interna aumenta hasta valores superiores a los 40°C, esto puede explicarse luego del análisis realizado a las condiciones externas, donde se puede observar claramente que la temperatura exterior estuvo sobre los 30°C durante gran parte del día, es decir, fuera del invernadero la temperatura ya superaba el umbral máximo. Frente a esto, si bien la ventilación natural de los invernaderos baja los niveles de temperatura interna, no puede lograr un descenso por debajo de los niveles externos, por lo que en dichos casos el método de ventilación empleado no es completamente efectivo para el control de la temperatura, suscitando la aparición de tomates con malformaciones a causa del excesivo calor, los cuales son nombrados como *rosco*s por los agricultores de la zona.

El problema en días muy cálidos es que el cierre con el plástico de la cubierta y las estructuras laterales de los invernaderos implican una enorme reducción del viento con respecto al exterior, dicha reducción tiene una gran repercusión sobre el microclima al interior de la estructura, debido al confinamiento del aire dentro de los invernaderos. Dado este escenario, en primera instancia se pensó en proponer una mayor apertura de los invernaderos, sin embargo, las corrientes de aire al interior de estos también pueden ser perjudiciales, ya que ráfagas muy fuertes podrían desprender el plástico de los techos u otra parte de la estructura. Finalmente se sugiere el empleo de otros mecanismos de ventilación como por ejemplo ventiladores mecánicos los cuales podrían ser controlados por el equipo desarrollado en esta memoria de título, de modo que la extracción y circulación del aire sea más efectiva, sin embargo, esto implicaría un gasto adicional para los agricultores, por lo que es una solución que se debe evaluar.

9.2. Variación de humedad interna y externa

Otra medida de gran relevancia en el desarrollo del cultivo es la humedad relativa, condición que también fue considerada dentro de las mediciones fundamentales de este proyecto. La importancia de la humedad ambiental radica en que niveles elevados de esta condición (sobre el 80%) promueven la aparición de hongos en el

cultivo. A continuación se presenta una imagen con los promedios mensuales de humedad registrados por los equipos.

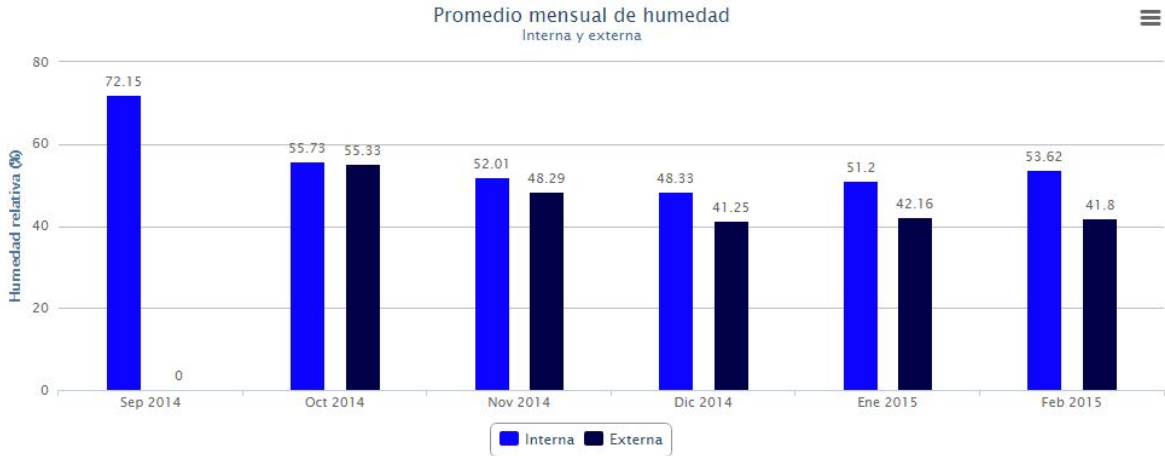


Figura 110: Promedios mensuales de humedad interna y externa.

Como se puede apreciar en la imagen, septiembre presenta el valor promedio más alto de humedad interna, esto puede explicarse porque en dicho mes aún no se determinaban los primeros horarios críticos de ventilación de los invernaderos, por lo que la apertura de la estructura era realizada por los agricultores cuando ellos lo estimaban permitente. Luego de las retroalimentaciones con los usuarios y la instalación de los nuevos prototipos se puede apreciar una clara baja en los promedios de humedad interior registrados en los meses posteriores, lo que demuestra que el equipo pudo haber favorecido al control oportuno de esta condición, algo que es discutido más adelante.

Por otro lado, al analizar los promedios de humedad del suelo, se obtuvieron los siguientes resultados.

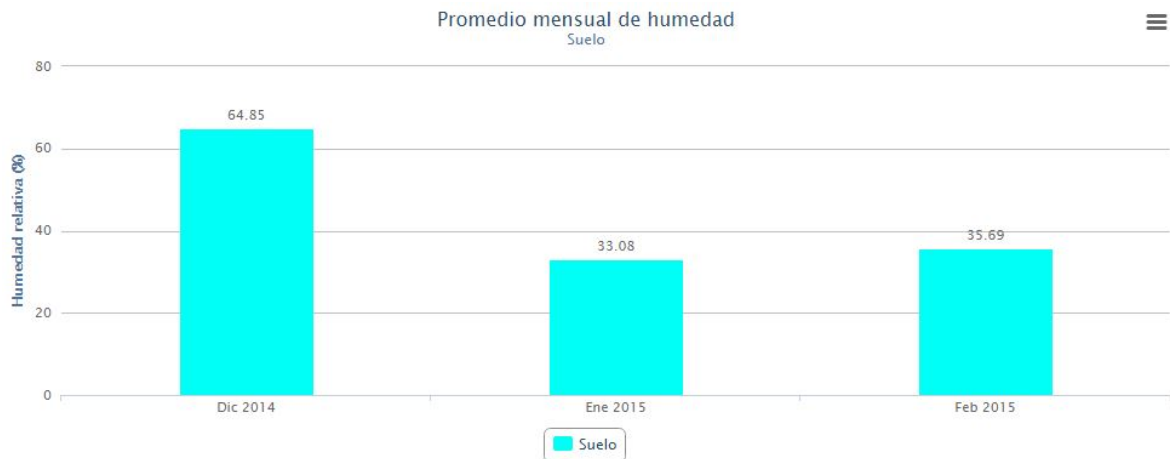


Figura 111: Promedios mensuales de humedad del suelo.

Algo peculiar de la imagen es la considerable disminución de la humedad del suelo durante los meses de enero y febrero en comparación al mes de diciembre. Frente a esto, cuando se analizaron los componentes, se pudo constatar la corrosión presentada por el sensor de humedad del suelo SEN92355P.



Figura 112: Corrosión del sensor SEN92355P.

Este problema pudo haber afectado la precisión y vida útil del sensor, explicando la baja en la humedad del suelo. Las causas de este fenómeno pueden ser la abundancia de minerales y metales en el suelo cultivado, además de las sales propias de los fertilizantes aplicados a las plantas. Se recuerda que el sensor mide la conductividad entre sus puntas, por lo que dicho fenómeno pudo favorecer un ataque

electroquímico del entorno en el que se encontraba el sensor. Dadas las pruebas y mediciones realizadas en este proyecto, se determinó que este componente tiene una duración aproximada de un mes bajo condiciones de riego constante.

9.3. Determinación de horarios críticos de ventilación

Para la determinación de los horarios críticos de ventilación se analizaron las mediciones de temperatura y humedad internas. En el caso de la temperatura, se identificaron los horarios en que dicha condición presentó un alza constante hasta llegar al umbral máximo, para ello se identificó la hora en que la temperatura comenzó a subir y la hora donde la temperatura alcanzó los 30°C, obteniendo los siguientes resultados.

Mes	Año	Horario crítico (temperatura)
Septiembre	2014	11:02 – 12:20
Octubre	2014	10:43 – 12:09
Noviembre	2014	10:46 – 12:22
Diciembre	2014	09:29 – 10:01
Enero	2015	09:46 – 11:06
Febrero	2015	10:22 – 11:46
Marzo	2015	10:56 – 11:52

Tabla 30: Horarios críticos de ventilación relacionados a la temperatura.

En la tabla anterior se pueden observar los horarios críticos relacionados a la temperatura interna por cada mes de medición, frente a esto, es importante destacar que antes de este horario no fue recomendable abrir completamente los invernaderos, ya que al fluir el aire en el interior se podrían producir temperaturas bajo los 20°C, llegando así a niveles inferiores a los recomendados durante el día. Por otro lado, el horario máximo refleja un nivel de temperatura que llega al umbral, esto deja un margen aproximado de más de 1 hora antes que puedan alcanzarse niveles críticos de esta condición (sobre los 40°C).

Por otro lado, el análisis de humedad fue un poco distinto, debido a que al comenzar las mediciones esta condición ya superaba el umbral máximo (80%), esto es normal debido a la propia transpiración de las plantas y a la acumulación de agua por parte

del suelo al interior de los invernaderos. Frente a esto, lo ideal fue que esta condición no superase el umbral máximo por más de una hora a partir del amanecer, de forma de evitar que la humedad se condensara en el techo de la estructura y comenzaran a caer gotas de agua sobre el cultivo, propiciándose así la aparición de enfermedades. A continuación se presenta una tabla con los horarios promedio de inicio de las mediciones en los distintos meses analizados.

Mes	Año	Horario crítico (humedad)
Septiembre	2014	06:41 – 07:41
Octubre	2014	06:43 – 07:43
Noviembre	2014	06:14 – 07:14
Diciembre	2014	05:58 – 06:58
Enero	2015	06:31 – 06:31
Febrero	2015	06:59 – 07:59
Marzo	2015	07:26 – 08:26

Tabla 31: Horarios críticos de ventilación relacionados a la humedad.

En la tabla anterior se contempla el horario promedio del inicio de las mediciones más 1 hora límite para la apertura de los invernaderos. En este sentido, como abrir completamente los invernaderos podría provocar una disminución de temperatura por debajo de los niveles recomendados, finalmente se logró proponer que los horarios críticos de temperatura y humedad son los siguientes.

Condición	Horario
Humedad	07:00 – 08:00 hrs.
Temperatura	11:00 – 12:00 hrs.

Tabla 32: Horarios críticos identificados para las condiciones de temperatura y humedad.

9.4. Generación de alertas

En cuanto a la generación de alertas, estas fueron gatilladas cuando los valores de temperatura y/o humedad fueran mayores a los umbrales máximos configurados en el equipo.



Figura 113: Ejemplo de alerta enviada por el equipo.

Si bien el equipo no cuenta con un algoritmo de predicción de alertas, se denominaron alertas tempranas a los mensajes SMS dado que los usuarios eran alertados antes que las condiciones de temperatura y/o humedad superaran cabalmente los umbrales máximos, recordando que en el caso de la humedad, existe un intervalo aproximado de una hora desde el amanecer para evitar la precipitación de agua desde el techo.

Estos mensajes se hicieron llegar a los usuarios cada día, por lo que luego de un par de meses fue necesario recargar la SIM del módulo GSM para su continuo funcionamiento. En un inicio, pese a lo prometedor de las alertas, los usuarios solían guiarse más por las luces de advertencias dispuestas en el equipo, sin embargo, cuando se encontraban lejos de los invernaderos, las alertas SMS resultaron ser muy útiles para la oportuna ventilación de la estructura, favoreciendo de esta forma un mejor control de las condiciones internas de los invernaderos, acostumbrándose finalmente a la dinámica que cuando llegara una alerta debían ir a abrir los invernaderos inmediatamente.

9.5. Impacto del equipo en el cultivo

Se realizaron comparaciones visuales con los invernaderos que no presentaban el equipo, los cuales eran abiertos de la forma “tradicional” (sin control, generalmente abiertos más tarde), estos últimos y bajo afirmaciones de los propios agricultores, presentaron una mayor presencia del hongo de la *botrytis*. Se presume de esta forma que la identificación de los horarios de ventilación, las alertas enviadas por el equipo y la oportuna reacción de los usuarios pudieron haber incidido en que la humedad interior no precipitara en forma de gotas sobre las plantas y los frutos, sino que su exceso fue liberado al exterior, produciendo una reducción en la aparición de dicha enfermedad debido al control adecuado de esta condición en períodos de la mañana. Esto tiene directa relación con la productividad de los invernaderos, donde la información entregada por el equipo podría haber incidido positivamente en dicho aspecto.

En general, los pequeños productores de tomate de invernadero de la región alcanzan rendimientos de 3.000 k/nave de 210m² de superficie bajo plástico (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2007). Llevando esto al escenario de este proyecto, como cada invernadero cuenta con una superficie total de aproximadamente 252m², el rendimiento total alcanza los 3.600 k/nave. Por su parte, los tomates son comúnmente comercializados en cajas de 15k, dando como resultado una producción aproximada de 230 cajas de tomates por invernadero. Sin embargo, el ataque de enfermedades (principalmente *botrytis*) afectan la producción de tal manera que la productividad total del invernadero puede verse reducida a solo 200 cajas de tomates por temporada, es decir, existe una pérdida aproximada de un 15% debido a enfermedades asociadas a la mala ventilación y el nulo control de la humedad interna. Frente a esto, luego de la determinación de los horarios críticos de ventilación por medio del equipo desarrollado, y junto a estimaciones realizadas con los agricultores, se pudo determinar que el equipo habría logrado una reducción de las pérdidas asociadas al hongo de la *botrytis* a solo un 5%, lo que se traduce en una productividad total de 220 cajones por invernadero durante esta temporada. Lo anterior equivale a un aumento en la producción de aproximadamente un 10%, al

realizar un cálculo simple, si cada caja de tomates se vende a un promedio de 5.000 pesos, se logró un aumento aproximado de 100.000 pesos de ganancia por invernadero, lo que multiplicado a la cantidad de invernaderos tratados (10 en total) se traduce en 1.000.000 de pesos, siendo esto un claro beneficio económico para los agricultores.

Además de lo anterior, generalmente para controlar la enfermedad de la botrytis se utiliza un fungicida llamado SWITCH (Figura 114), dicho fungicida cuesta alrededor de 100.000 pesos y contiene 5 bolsas granuladas de 200g cada una. En la temporada anterior al equipo se aplicaron dos bolsas del fungicida cada 10 invernaderos. Esta temporada solo se aplicó una bolsa en los 10 invernaderos donde se instaló el equipo, por lo que se podría presumir que éste logró ayudar a una reducción del 50% en la aplicación del fungicida, lo que significa un claro beneficio tanto económico como medioambiental en el desarrollo de los tomates de invernadero.



Figura 114: Fungicida aplicado para el control del hongo de la botrytis.

10. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este proyecto se plantearon una serie de objetivos los cuales fueron completados de forma satisfactoria, en este sentido, se destaca que la solución logró cumplir con el objetivo general propuesto en un principio, implementando una solución de monitorización en los invernaderos que permitió la determinación de los horarios críticos de temperatura y humedad dentro de la estructura. Por otro lado, también se ha corroborado la hipótesis inicial, logrando que efectivamente el equipo asista a los agricultores en la oportuna ventilación de sus invernaderos. Frente a lo anterior, existen una serie de aportes realizados tanto por el producto de hardware como de software de esta memoria, los cuales son presentados a continuación.

10.1. Principales aportes

La solución implementada fue desarrollada para facilitar y entregar información sobre el proceso de ventilación de los invernaderos y las condiciones climáticas existentes dentro de la estructura, dado lo anterior, se destacan los siguientes aportes.

- A. Se logró construir un producto de hardware resistente y modular, permitiendo la implementación física de la solución.
 - El diseño compacto y modular del equipo permite una fácil instalación sin necesidad de modificar la estructura de los invernaderos.
 - El diseño Top-Down empleado para su construcción fue ideal para el desarrollo del hardware, ya que proporciona una representación del producto en varios niveles, donde cada uno de ellos logra especificar características diferentes de la solución. Esto evitó problemas que surgen con otras metodologías de diseño como por ejemplo Bottom-Up, donde existe el riesgo de desarrollar cosas sin saber cómo se van a conectar con el resto de la solución.
 - La utilización de Arduino como componente principal de la solución permitió agilizar el desarrollo del hardware y la programación del

software en el equipo, en este sentido, la versatilidad de esta tecnología permite su adaptación a prácticamente cualquier problemática que involucre la electrónica básica como medio para su solución. La popularidad de Arduino se ha extendido en los últimos años siendo citada en el *IEEE Spectrum* como el movimiento de hardware libre más influyente de este tiempo.

B. Se logró desarrollar un sistema de software capaz de gestionar los datos registrados e iniciar el proceso de alertas.

- El equipo realiza un almacenamiento eficaz de los datos obtenidos por los sensores, permitiendo conocer la evolución de las condiciones climáticas de los invernaderos y entregar a los usuarios información de sus cultivos que nunca antes habían evidenciado.
- La utilización de un dispositivo móvil como receptor de las alertas enviadas por el equipo permite a los usuarios saber cuándo efectivamente deben realizar el proceso de ventilación de los invernaderos de forma remota.
- La arquitectura de software y de hardware diseñada en este proyecto otorga al sistema un comportamiento modular, haciéndolo modificable, perdurable y expandible en el tiempo. Esto posibilita que la solución pueda ser extrapolada a más cultivos, para el registro de otro tipo de información por medio de nuevos sensores o componentes.
- El empleo de una máquina de estados permite al equipo autocontrolar su funcionamiento, cambiando de un estado a otro según la información procesada en un bucle de ejecución infinito.

C. La solución tuvo un impacto positivo sobre el cultivo, destacando que:

- La determinación de los horarios críticos y la generación de alertas permitieron controlar oportunamente la humedad interna de la estructura, logrando un aumento en la producción de aproximadamente un 10% dada la prevención de pérdidas asociadas a enfermedades como la botrytis.

- Por otro lado, no sólo se logró un beneficio económico, sino que también se redujo la aplicación de fungicidas en la plantación, lo que se traduce en una clara disminución del impacto ambiental negativo.

Finalmente y a modo general se destaca que dado el enorme potencial agrícola de la región, el desarrollo de productos orientados a solucionar problemáticas de esta área con componentes de bajo costo como los estudiados en este proyecto, se presenta como un nuevo nicho de mercado, abierto a dispositivos que contribuyan de manera efectiva al desarrollo agrícola, con especial énfasis en los pequeños productores de la zona.

10.2. Trabajo futuro

Si bien la solución logró cumplir con los objetivos propuestos, ésta se seguirá expandiendo hasta llegar a un producto atractivamente comercial. Por otro lado, frente a los intervalos críticos de ventilación identificados, se propone una nueva metodología de ventilación.

10.2.1. Ventilación en dos fases (Nueva hipótesis)

Esta nueva hipótesis contempla un método distinto de apertura para cada condición (temperatura y humedad), esto es:

- Entre las 07:00 y las 08:00 hrs abrir los invernaderos a sotavento (extremo hacia donde se dirige el viento) logrará bajar el nivel de humedad al interior de la estructura sin afectar en demasía el nivel de temperatura. Por otro lado, luego de esta primera apertura, entre las 11:00 y las 12:00 hrs abrir los invernaderos a barlovento (extremo desde donde viene el viento) permitirá el ingreso del aire exterior, por lo que bajará el nivel de temperatura que existe dentro de la estructura.

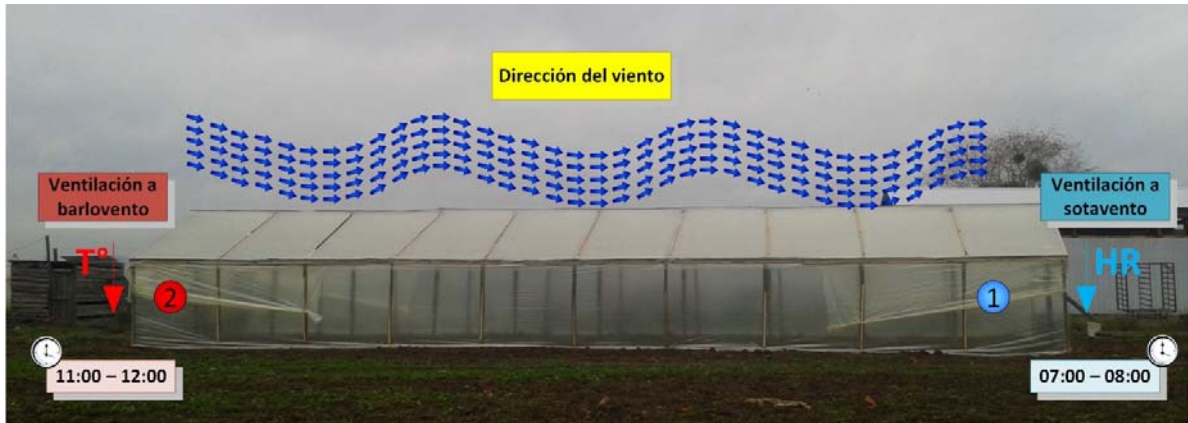


Figura 115: Propuesta de nueva metodología de ventilación (T° : Temperatura, HR: Humedad relativa).

Para la comprobación de esta nueva hipótesis ya se contempla la construcción de dos invernaderos de prueba, uno que será abierto bajo la nueva metodología, y otro a modo de control, de este modo se podrán realizar comparaciones y contrastar sobre las variaciones de las condiciones internas de ambas estructuras, además de la aparición de enfermedades entre otras características. Un aspecto importante en el desarrollo de esta nueva solución es la incorporación de dos nuevos sensores al equipo, un “anemómetro” para la medición de la velocidad del viento y una “veleta” para la determinación de su dirección.

10.2.2. Modificaciones al equipo

Se pretende seguir desarrollando el equipo no tan solo para medir las condiciones de los invernaderos, sino también para la medición de condiciones climáticas en distintos cultivos, para ello, se pretende realizar las siguientes modificaciones.

- a) **Independencia energética:** Una de las primeras modificaciones al equipo será la integración de un panel solar y una batería de ciclo profundo, de este modo se logrará una independencia energética que permitirá al dispositivo ser colocado en cualquier predio sin necesidad de contar con una conexión eléctrica estable.
- b) **Servidor online:** El módulo GSM utilizado permite la conexión a Internet vía GPRS, por lo que se implementará un servidor online que permita la captura y

almacenamiento de los datos, de esta forma se podrán generar estadísticas en tiempo real de las condiciones registradas por los sensores.

- c) **Extracción de datos:** Actualmente para extraer los datos del equipo se debe retirar manualmente la tarjeta de memoria, frente a esto se añadirá un componente que permita la transferencia de datos desde el equipo a un computador sin necesidad de realizar esta acción. Para ello actualmente se está evaluando la integración de un módulo *bluetooth*, dejando de esta forma la tarjeta de memoria como un respaldo de emergencia en caso de perder los datos registrados.

11. REFERENCIAS

- Aguirre, L., 2009. Estudio de una red de sensores sin hilos basada en la tecnología Arduino bajo protocolos de comunicaciones ZigBee.
- Al-Busaidi, A.M., 2012. Development of an educational environment for online control of a biped robot using MATLAB and Arduino, in: 2012 13th Int'l Workshop on Mechatronics (MECATRONICS) , 2012 9th France-Japan 7th Europe-Asia Congress on and Research and Education in Mechatronics (REM). Presented at the 2012 13th Int'l Workshop on Mechatronics (MECATRONICS) , 2012 9th France-Japan 7th Europe-Asia Congress on and Research and Education in Mechatronics (REM), pp. 337–344. doi:10.1109/MECATRONICS.2012.6451030
- Asada, G., Bhatti, I., Lin, T.H., Natkunanathan, S., Newberg, F., Rofougaran, R., Sipo, A., Valoff, S., Pottie, G.J., Kaiser, W.J., 1999. Wireless integrated network sensors (WINS). pp. 11–18. doi:10.1117/12.354264
- Asociación de Viveros de Chile, 2014. Anuario Viveros 2014: Plantas Frutales, Vides y Plantines de Hortalizas Comercializados en Chile. Santiago.
- Bin Haji Sidek, S.F., 2010. The development of the short messaging service (SMS) application for the school usage. IEEE, pp. 1382–1386. doi:10.1109/ITSIM.2010.5561647
- Bonino, D., Castellina, E., Corno, F., Liu, M., 2009. Technology independent interoperation of domotic devices through rules, in: IEEE 13th International Symposium on Consumer Electronics, 2009. ISCE '09. Presented at the IEEE 13th International Symposium on Consumer Electronics, 2009. ISCE '09, pp. 971–975. doi:10.1109/ISCE.2009.5157026
- Castilla, N., Prados, N.C., 2007. Invernaderos de plástico. Mundi-Prensa Libros.
- Cox, B., Novobilski, A., 1991. Object-Oriented Programming: An Evolutionary Approach, Edición: 2nd edition. ed. Addison Wesley, Reading, Mass.
- Craig, L., 2004. UML y Patrones. Prentice Hall, Madrid; México.
- Divakar, S., 2011. Multi-colored line following and obstacle avoiding helicopter, in: 2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology (ICECT). Presented at the 2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology (ICECT), pp. 135–139. doi:10.1109/ICECTECH.2011.5941873
- Escaff, M., Ferreyra, R., Bruna, A., Barrera, C., Gil, P., Maldonado, P., 2005. Cultivo de tomate bajo invernadero (Boletín No. 128), Boletín INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, La Cruz, Chile.
- Estay, H., González, C., 2013. Informe Económico Regional 2013 (Octubre - Diciembre) (Informe Económico Regional (IER)). Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Avenida Presidente Bulnes 418, Santiago, Chile.
- Flaño, A., 2013. Situación del tomate para consumo fresco. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Chile.
- Gil, C., Alberto, R., 2006. Estructura básica del proceso unificado de desarrollo de software. Sist. Telemática.
- Gomes, J.M., Ferreira, P.M., Ruano, A.E., 2011. Implementation of an intelligent sensor for measurement and prediction of solar radiation and atmospheric

- temperature, in: 2011 IEEE 7th International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP). Presented at the 2011 IEEE 7th International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP), pp. 1–6. doi:10.1109/WISP.2011.6051713
- Gomez, K., Riggio, R., Rasheed, T., Miorandi, D., Granelli, F., 2012. Energino: A hardware and software solution for energy consumption monitoring, in: Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt), 2012 10th International Symposium on. IEEE, pp. 311–317.
- González Barahona, J., Seoane Pascual, J., Robles, G., 2003. Introducción al software libre. Barcelona : Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya, 2003.
- Gu, G., Peng, G., 2010. The survey of GSM wireless communication system. IEEE, pp. 121–124. doi:10.1109/ICCA.2010.6141552
- Harnett, C., 2011. Open source hardware for instrumentation and measurement. IEEE Instrum. Meas. Mag. 14, 34–38. doi:10.1109/MIM.2011.5773535
- Healy, M., Newe, T., Lewis, E., 2008. Wireless Sensor Node hardware: A review, in: 2008 IEEE Sensors. Presented at the 2008 IEEE Sensors, pp. 621–624. doi:10.1109/ICSENS.2008.4716517
- Hempenius, K.A., Wilson, R.A., Kumar, M.J., Hosseini, N., Cordovez, M.E., Sherriff, M.S., 2012. A more cost-effective unattended ground sensor using commercial off-the-shelf products, in: 2012 IEEE Systems and Information Design Symposium (SIEDS). Presented at the 2012 IEEE Systems and Information Design Symposium (SIEDS), pp. 62–67. doi:10.1109/SIEDS.2012.6215148
- Herrera Suárez, M., Iglesias Coronel, C., Lara Coba, D., González Cueto, O., López Bravo, E., 2011. Desarrollo de un sensor para la medición continua de la compactación del suelo. Rev. Cienc. Téc. Agropecu. 20, 06–11.
- Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2007. Tomate de invernadero Región del Maule. Asesorías Agrícolas y Agroindustriales (ASAGRIN).
- Jacobson, I., Booch, G., Rumbaugh, J., 1999. The Unified Software Development Process, 1 edition. ed. Addison-Wesley Professional, New Jersey.
- Jaramillo, J., Rodríguez, P., Guzmán, M., Zapata, M., 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero (No. 21), Boletín técnico 21. Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Colombia.
- Johnson, M., Healy, M., van de Ven, P., Hayes, M.J., Nelson, J., Newe, T., Lewis, E., 2009. A comparative review of wireless sensor network mote technologies, in: 2009 IEEE Sensors. Presented at the 2009 IEEE Sensors, pp. 1439–1442. doi:10.1109/ICSENS.2009.5398442
- Juang, H.-S., Lurr, K.-Y., 2013. Design and control of a two-wheel self-balancing robot using the arduino microcontroller board. IEEE, pp. 634–639. doi:10.1109/ICCA.2013.6565146
- Kemis, H., Bruce, N., Ping, W., Antonio, T., Gook, L.B., Lee, H.J., 2012. Healthcare monitoring application in ubiquitous sensor network: Design and implementation based on pulse sensor with arduino, in: Information Science and Service Science and Data Mining (ISSDM), 2012 6th International Conference on New Trends in. Presented at the Information Science and Service Science and Data Mining (ISSDM), 2012 6th International Conference on New Trends in, pp. 34–38.

- Kioumars, A.H., Tang, L., 2011. Wireless network for health monitoring: heart rate and temperature sensor, in: 2011 Fifth International Conference on Sensing Technology (ICST). Presented at the 2011 Fifth International Conference on Sensing Technology (ICST), pp. 362–369. doi:10.1109/ICSensT.2011.6137000
- Knörig, A., Wettach, R., Cohen, J., 2009. Fritzing: A Tool for Advancing Electronic Prototyping for Designers, in: Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction, TEI '09. ACM, New York, NY, USA, pp. 351–358. doi:10.1145/1517664.1517735
- Kushner, D., 2011. Ticking to eternity. *IEEE Spectr.* 48, 54–62. doi:10.1109/MSPEC.2011.6056627
- Lagunas, A., 2013. Evaluación del manejo del riego por medio de sensores de humedad del suelo en un cultivo de tomate para la industria.
- Larman, C., 2004. Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development, Edición: 3rd ed. ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Mantyla, M., 1990. A modeling system for top-down design of assembled products. *IBM J. Res. Dev.* 34, 636–659.
- Monardes, H., Escalona, V., Alvarado, P., Urbina, C., Martin, A., 2009. MANUAL DE CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.).
- Oancea, C.D., 2011. GSM infrastructure used for data transmission. Presented at the Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2011 7th International Symposium on, IEEE, pp. 1–4.
- Orha, I., Oniga, S., 2013. Automated system for evaluating health status, in: Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 2013 IEEE 19th International Symposium for. Presented at the Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 2013 IEEE 19th International Symposium for, pp. 219–222. doi:10.1109/SIITME.2013.6743677
- Purusothaman, S.R.R.D., Rajesh, R., Bajaj, K.K., Vijayaraghavan, V., 2013. Implementation of Arduino-based multi-agent system for rural Indian microgrids. *IEEE*, pp. 1–5. doi:10.1109/ISGT-Asia.2013.6698751
- Riquelme, J., Carrasco, J., 2006. Alternativas de desinfección de suelo en la producción de tomates en invernaderos de Colón (Boletín No. 155). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Villa Alegre.
- Santoshkumar, Chelli, K., Chavhan, S., 2013. Development of Wireless Sensor Node to Monitor Poultry Farm, in: Das, V.V., Chaba, Y. (Eds.), Mobile Communication and Power Engineering, Comunicaciones En Informática Y Ciencias de La Información. Springer Berlin Heidelberg, pp. 27–32.
- Sarik, J., Kymissis, I., 2010. Lab kits using the Arduino prototyping platform. *IEEE*, pp. T3C–1–T3C–5. doi:10.1109/FIE.2010.5673417
- Silva, J.F.M.C., Gomes, R.C., Nascimento, A.O.F., Menezes, J.W.M., Silva, F.D., Alves, L.E.B., 2012. Building a Node for Wireless Sensor Network Based on Open Source Platform Arduino, in: 2012 Brazilian Symposium on Computing System Engineering (SBESC). Presented at the 2012 Brazilian Symposium on Computing System Engineering (SBESC), pp. 224–224. doi:10.1109/SBESC.2012.52

- Stallman, R., 2004. Software libre para una sociedad libre. Madrid : Traficantes de Sueños, 2004.
- Trono, E.M., Guico, M.L., Libatique, N.J.C., Tangonan, G.L., Baluyot, D.N.B., Cordero, T.K.R., Geronimo, F.A.P., Parrenas, A.P.F., 2012. Rainfall monitoring using acoustic sensors, in: TENCON 2012 - 2012 IEEE Region 10 Conference. Presented at the TENCON 2012 - 2012 IEEE Region 10 Conference, pp. 1–6. doi:10.1109/TENCON.2012.6412284
- Valente, J., Sanz, D., Barrientos, A., Cerro, J. del, Ribeiro, Á., Rossi, C., 2011. An Air-Ground Wireless Sensor Network for Crop Monitoring. Sensors 11, 6088–6108. doi:10.3390/s110606088
- ZAPATA, C.M., ÁLVAREZ, C.A., ARANGO, F., 2006. REFINAMIENTO DEL DIAGRAMA DE CLASES UML A ORACLE® 9I EN ATOM3 UML CLASS DIAGRAM–ORACLE® 9I REFINEMENT IN ATOM3.
- Zhang, S., Zhang, H., 2012. A review of wireless sensor networks and its applications, in: 2012 IEEE International Conference on Automation and Logistics (ICAL). Presented at the 2012 IEEE International Conference on Automation and Logistics (ICAL), pp. 386–389. doi:10.1109/ICAL.2012.6308240


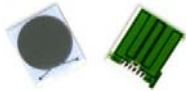
1. Anexos








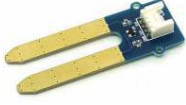

1.1. Anexo 1: Listado de enfermedades del cultivo de tomates en invernadero

Enfermedad	Agente	Causas	Daños provocados
Enfermedades causadas por hongos			
- Pudrición gris - Tizón de la flor - Botrytis	<i>Botrytis cinérea</i>	- Temperatura entre 15 y 25°C. - Humedad relativa sobre 95%.	- Pudrición de hojas, flores, frutos y tallos.
- Cladosporiosis - Moho foliar - Mildiu	<i>Cladosporium fulvum</i>	- Temperatura entre 20 y 24°C. - Humedad relativa sobre 85%.	- Manchas amarillas en la superficie de las hojas.
- Raíz corchosa	<i>Pyrenochaeta lycopersici</i> <i>Fusarium oxysporum</i>	- Suelo húmedo. - Temperatura entre 15 y 20°C (trazas frías). - Temperatura entre 26 a 30°C (trazas mediterráneas).	- Amarillamiento progresivo y menor desarrollo de la planta. - Manchas necróticas en las raíces. - Destrucción del sistema radicular.
Enfermedades causadas por bacterias			
- Cancro bacteriano	<i>Clavibacter michiganensis</i>	- Temperatura entre 24 y 28°C. - Exceso de humedad.	- Marchitez de los folíolos. - Hojas curvas y reseca.
- Necrosis medular (o Médula negra)	<i>Pseudomonas corrugata</i>	- Exceso de humedad. - Exceso de nitrógeno.	- Clorosis de las hojas. - Marchitez de la planta.

			- Necrosis del tallo.
Enfermedades causadas por virus			
- Virus del bronceado del tomate	<i>Tomato spotted wilt virus (TSWV)</i>	- Transmisión por vector. - Semillas infectadas.	- Detención del crecimiento apical (Enanismo). - Producción nula. - Marchitez apical. - Manchas amarillas en el fruto.
- Virus del mosaico del pepino	<i>Cucumber Mosaic Virus (CMV)</i>	- Transmisión por vector (áfidos).	- Reducción de la lámina foliar. - Necrosis en hojas, pecíolos y tallos.
- Virus del mosaico de la alfalfa	<i>Alfalfa Mosaic Virus (AMV)</i>	- Transmisión por vector (áfidos).	- Manchado de ápices y frutos. - Necrosis de nervaduras y frutos.
- Virus del mosaico del pepino dulce	<i>Pepino Mosaic Virus (PepMV)</i>	- Diseminación por contacto.	- Manchado, deformación y ampollamiento de las hojas. - Maduración irregular de frutos.

1.2. Anexo 2: Tipos de sensores.

Tipo de sensor	Imagen
Acelerómetro	
Sensor de lluvia	

Sensor de voltaje y corriente			
Sensor de monóxido de carbono (CO)			
Sensor de flujo de agua			
Sensor de luz			
Sensor de campo magnético			
Sensor de movimiento			
Sensor de sonido			
Sensor de humedad de suelo			
Sensor de temperatura			

1.3. Anexo 3: Hardware disponible en el mercado nacional

Importante: Todos los precios corresponden a pesos Chilenos.

1.3.1. Sensores

Sensor	Tipo	Características	Precio aproximado
Mini Fococelda	Luz	- Temperatura de operación: -30 a 70°C. - Sensibilidad: 540nm.	1.000
TEMT6000	Luz	- Temperatura de operación: -40 a 85°C. - Sensibilidad: 570nm.	3.000
HIH4030	Humedad (ambiental)	- Voltaje: 4 – 5.8V. - Rango medición: 0 – 100%. - Precisión: $\pm 3.5\%$.	12.000
HS1101	Humedad (ambiental)	- Voltaje: 5 – 10V. - Rango medición: 0 – 100%. - Precisión: $\pm 5\%$.	8.000
SEN92355P	Humedad (Suelo)	- Voltaje: 3,3 – 5V. - Rango medición: 0 – 100%. - Precisión: $\pm 2\%$.	4.000
DS18B20	Temperatura (ambiental, suelo)	- Voltaje: 3 – 5V. - Rango medición: -55 a 85°C. - Precisión: $\pm 2^\circ\text{C}$.	8.000
TMP102	Temperatura (ambiental)	- Voltaje: 1,4 – 3,6V. - Rango medición: -40 a 125°C. - Precisión: $\pm 3^\circ\text{C}$.	4.500
MLX90614	Temperatura (ambiental)	- Voltaje: 8 – 16V. - Rango medición: -40 a 85°C. - Precisión: $\pm 0,5^\circ\text{C}$.	14.000
ZX-Thermometer	Temperatura (ambiental, suelo)	- Voltaje: 1,8 – 5V. - Rango medición: -20 a 85°C. - Precisión: $\pm 0,5^\circ\text{C}$.	5.000
SHT15	Temperatura y humedad (ambiental)	- Voltaje: 3,3 – 5V. - Rango medición (T): 0 – 125°C. - Rango medición (H): 0 – 100%.	25.000

		- Precisión (T): $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$. - Precisión (H): $\pm 0,1\%$.	
SHT10	Temperatura y humedad (ambiental)	- Voltaje: 5V. - Rango medición (T): -10 a 80°C . - Rango medición (H): 0 – 100%. - Precisión (T): $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. - Precisión (H): $\pm 5\%$.	34.000
DHT11	Temperatura y humedad (ambiental)	- Voltaje: 5V. - Rango medición (T): 0 a 50°C . - Rango medición (H): 20 – 90%. - Precisión (T): $\pm 2^{\circ}\text{C}$. - Precisión (H): $\pm 5\%$.	4.000

1.3.2. Shields

Shield	Características	Precio aproximado
Arduino GM862 Shield	- Socket GM862.	42.000
Arduino Logger Shield	- Socket microSD. - Reloj de tiempo real (RTC).	15.000
Arduino M2M Shield	- Socket microSD. - Reloj de tiempo real (RTC). - Socket SIM. - Módulo GPS.	67.000
Arduino microSD Shield	- Socket microSD.	10.000
Cellular Shield con SM5100B	- Socket SIM.	73.000
XBee Shield	- Socket Xbee.	16.000

1.3.3. Módulos de comunicación

Módulo de comunicación		Características	Precio aproximado
Módulo Celular		- Conexión GSM.	65.000
GSM/GPRS	R-GM862-G4	- Conexión GPRS.	
QuadBand			
GPRSBee		- Conexión GSM. - Conexión GPRS.	32.000

1.3.4. Tarjetas de desarrollo Arduino

Tarjeta de desarrollo	Características	Precio aproximado
Arduino Ethernet	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje: 7 – 12 V. - Pines digitales: 14 (8 reservados). - Pines análogos: 6. - Puertos seriales: 1. - SRAM: 2 KB. - Memoria Flash: 32 KB. - EEPROM: 1 KB. - Controlador Ethernet integrado. 	42.000
Arduino Fio	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje: 3.3 – 12V. - Pines digitales: 14. - Pines análogos: 8. - Puertos seriales: 1. - SRAM: 2 KB. - Memoria Flash: 32 	17.000

	KB. - EEPROM: 1 KB. - Conexión directa a batería.	
Arduino Leonardo	- Voltaje: 7 – 12 V. - Pines digitales: 20. - Pines análogos: 12. - Puertos Seriales: 2. - SRAM: 2.5 KB. - Memoria Flash: 32 KB. - EEPROM: 1 KB.	18.000
Arduino Mega	- Voltaje: 7 – 12 V. - Pines digitales: 54. - Pines análogos: 16. - Puertos seriales: 4. - SRAM: 8 KB. - Memoria Flash: 256 KB. - EEPROM: 4KB.	41.000
Arduino Uno	- Voltaje: 7 – 12 V. - Pines digitales: 14. - Pines análogos: 6. - Puertos seriales: 1. - SRAM: 2 KB. - Memoria Flash: 32 KB. - EEPROM: 1 KB.	16.000
Arduino Nano	- Voltaje: 7 – 12 V. - Pines digitales: 14. - Pines análogos: 8. - Puertos seriales: 1. - SRAM: 1 KB. - Memoria Flash: 16	32.000

	KB. - EEPROM: 1 KB.	
Arduino Pro Mini	- Voltaje: 3.3 – 12 V. - Pines digitales: 14. - Pines análogos: 8. - Puertos seriales: 1. - SRAM: 1 KB. - Memoria Flash: 16 KB. - EEPROM: 512 bytes.	11.000

1.3.5. Otros componentes

Componente	Características	Precio aproximado
Display Alfanumérico 16x2	- Número de filas: 2. - Número de columnas: 16.	6.500
Display Alfanumérico 20x2	- Número de filas: 2. - Número de columnas: 20.	13.000
Display Alfanumérico 20x4	- Número de filas: 4. - Número de columnas: 20.	13.000
Mini teclado	- Teclado matriz de 16 teclas.	8.000
Teclado de Membrana	- Teclado matriz de 16 teclas. - Adhesivo.	6.000

1.4. Anexo 4: Materiales para la construcción de los invernaderos

Material	Categoría	Cantidad
Polietileno (nylon UV) espesor 0,1 - dimensión 1,75m (cerrado) - rollo 50K [techo]	Estructura	1
Polietileno (nylon UV) espesor 0,1 - dimensión 1,1m (cerrado) - rollo 25K [lateral]	Estructura	1
Palos (polines) - altura 2,4m	Estructura	63
Tablas (Tapa) - largo 3,2m [cerchas]	Estructura	46
Tablas (Tapa) - largo 2,4m [laterales]	Estructura	84
Tablillas - ancho 1 pulgada - largo 2,4m	Estructura	100
Clavos 3 pulgadas - 1K	Estructura	3
Clavos 2 pulgadas - 1K	Estructura	2
Polietileno (nylon MAX) - espesor 0,3 - dimensión 1,4m (cerrado) - rollo 10K	Acolchado	1
Motor 2HP	Riego	1
Tuvo PVC - largo 6m	Riego	1
Manguera planza - largo 12m	Riego	1
Cintas goteo - largo 42m	Riego	10
Conectores Planza-Cintas goteo	Riego	10

(*) Las cantidades están definidas para la construcción de un solo invernadero.