



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y

REDES DE COMUNICACIÓN

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TEMA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE PARA CULTIVOS DE
HORTALIZAS BASADO EN FUZZY LOGIC EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.**

AUTOR: Leandro Joel Salazar Cárdenas

DIRECTOR: Ing. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez, MSc

Ibarra- Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.

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

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401707120-0
APELLIDOS Y NOMBRES:	Salazar Cárdenas Leandro Joel
DIRECCIÓN:	Calle Chica Narváez y Borrero
E-MAIL:	ljsalazar@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0990137716
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE PARA CULTIVOS DE HORTALIZAS BASADO EN FUZZY LOGIC EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
AUTOR:	Salazar Cárdenas Leandro Joel
FECHA:	Marzo del 2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
ASESOR /DIRECTOR	MSc. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 26 días del mes de marzo de 2019

EL AUTOR


.....

Leandro Joel Salazar Cárdenas

Cédula: 040170712-0



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN.

MAGISTER FABIAN CUZME RODRÍGUEZ, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación "DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE PARA CULTIVOS DE HORTALIZAS BASADO EN FUZZY LOGIC EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE". Ha sido desarrollado por el señor Leandro Joel Salazar Cárdenas bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Fabian Geovanny Cuzme Rodriguez', is written over a horizontal dotted line.

Ing. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez, MSc
C.C: 1311527012
DIRECTOR

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a ese ser sobrenatural y todopoderoso que es Dios por fortalecer mi espíritu, darme salud y vida para tener la fuerza necesaria para afrontar cada batalla con éxito.

Deseo hacer un agradecimiento especial a mi patrona de mi pueblo natal que es la Santísima Virgen de la Purificación de Huaca que mediante mis constantes plegarias me permite encontrar la paz y la armonía necesaria para solucionar los problemas con inteligencia.

Un infinito agradecimiento a mis padres, unos seres humanos grandiosos que siempre han sido el pilar fundamental durante mi formación como persona, colaborándome económicamente en mis estudios universitarios, llenos de grandes valores y buenos consejos que constantemente me impulsan en seguir adelante.

De la misma manera a mis hermanos, José Salazar, Jacob Salazar y mi hermana Melany Salazar que con hermandad, confianza y responsabilidad me han apoyado moralmente, nunca me han abandonado y siempre he contado con el apoyo en los momentos mas difíciles que se me han presentado en este proceso de culminación de la tesis.

Una inmensa gratitud al mentor y colaborador de este trabajo de tesis mi tutor el Ing. Fabián Cuzme, MSc, ya que sin su apoyo continuo e incondicional no hubiese sido posible finalizar el presente trabajo de investigación, respetando y valorando su tiempo requerido durante todo este proceso de titulación.

Finalmente, agradecer a los Docentes y mis compañeros que durante esta etapa de vida universitaria me impartieron y compartieron sus conocimientos con la finalidad de superar las barreras del aprendizaje.

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado con mucha alegría a mis queridísimos padres, por todo el amor, cariño, educación, trabajo y disciplina que me dedican día tras día, son dos personas que he admirado en esta vida y que gracias a su constante esfuerzo he podido conseguir las metas que me he propuesto.

A mi madre Esther Benítez

Un gran ejemplo para mí de trabajo, sacrificio y responsabilidad que la convierten en una de las mujeres únicas en esta sociedad, gracias a su insistencia y sus palabras de aliento como impulsos que me fortificaron para culminar exitosamente este trabajo.

A mi padre Luis Salazar

Un hombre caracterizado por tener humildad, comprensión y rectitud que me ha inculcado valores para encaminarme por el buen camino, por la preocupación constante que tiene conmigo y con el resto de mi familia, siempre recalcando que con el apoyo y unión familiar es posible superar todas las barreras.

Leandro

ÍNDICE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	I
2. CONSTANCIAS.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
RESUMEN.....	XXI
ABSTRACT.....	XXII
CAPITULO 1.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1. Tema:.....	1
1.2. Problema:.....	1
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. General.....	3
1.3.2. Específicos.....	3
1.4. Alcance.....	3
1.5. Justificación.....	5
CAPITULO 2.....	7

MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Tecnologías inalámbricas.....	7
2.1.1. Principales tecnologías inalámbricas.....	7
2.2. Redes de sensores inalámbrica (WSN)	9
2.2.1 Elementos de una red WSN.....	10
2.2.1.1. Coordinador	10
2.2.1.2. Enrutador (Gateway).....	11
2.2.1.3. Estación Terminal.....	11
2.2.1.4. Medio Inalámbrico.....	11
2.3. Sistemas inteligentes	12
2.3.1. Inteligencia artificial.....	12
2.3.2. Técnicas inteligentes.....	13
2.3.3. Lógica Difusa.	13
2.3.3.2. Ventajas de controladores difusos.	14
2.3.3.3. Conjuntos clásicos vs difusos.	15
2.3.4. Estructura de un sistema con control difuso.	16
2.3.4.1. Universo de discurso.....	17
2.3.4.2. Conjuntos difusos.....	17
2.3.4.3. Distribución Borrosa.	18
2.3.4.4. Función de membresía.....	19
2.3.4.5. Operaciones borrosas.	21
2.3.4.6. Fusificación.....	23
2.3.4.7. Reglas borrosas.	24
2.3.4.8. Inferencia difusa.....	26
2.3.4.9. Agregado.	27
2.3.4.10. Defusificación.....	27
2.3.4.11. Ejemplo práctico	28

2.4. Norma IEEE 29148.	31
2.4.1. Pasos de la norma IEEE 29148.....	31
2.5. Modelo en V.....	33
2.5.1. Pasos del modelo en V.....	33
2.6. Sistemas de riego.....	35
2.6.1. Superficial.....	35
2.6.2. Aspersión.....	35
2.6.3. Micro-riego(Goteo)	35
2.6.3.1. Elementos de un riego por goteo.	36
2.7. Variables de un sistema de riego.....	37
2.7.1. Temperatura Ambiente.....	38
2.7.2. Humedad del ambiente	38
2.7.3. Precipitación	39
2.8. Hortalizas	39
2.9. Sensores y propiedades	40
2.9.1. Campo de medida	42
2.9.2. Resolución	42
2.9.3. Sensibilidad	42
2.9.4. Linealidad	42
2.9.5. Saturación	42
2.9.6. Histéresis	42

2.9.7. Exactitud.....	42
2.9.8. Precisión	43
2.9.9. Velocidad de respuesta	43
2.9.10. Estabilidad.	43
2.10. Actuadores.....	43
2.10.1. Electroválvula solenoides.	43
2.11. Sistemas embebidos	44
2.11.1. Componentes de un sistema embebido.....	44
2.11.2. Características de un sistema embebido	45
2.12. Herramientas de software y hardware libres.	47
2.12.1. Arduino.....	47
2.12.2. Raspberry.....	47
2.12.3. Python.....	48
CAPITULO 3.....	49
3.1. Metodología	49
3.2. Modelo en V.....	49
3.3. Análisis.....	51
3.3.1. Situación actual.....	51
3.3.1.1. Técnicas de recolección de información.....	51
3.3.1.2. Técnica Observación directa.....	52
3.3.1.3. Cuestionario realizado al técnico agricultor.	54
3.3.1.4. Análisis de las técnicas de recolección de información.	56

3.3.2. Propósitos del entorno actual.....	59
3.3.2.1. Definición de acrónimos y abreviaturas.	61
3.3.3. Descripción general del sistema.	61
3.3.3.1. Análisis funcional.	62
3.3.4. Características del sistema.....	62
3.4. Requerimientos.....	64
3.4.1. Requerimientos indirectos destinados para el sistema.	65
3.4.2. Requerimientos iniciales del sistema.....	66
3.4.3. Requerimientos funcionales del sistema.....	68
3.4.3.1. Prohibiciones.....	69
3.4.3.2. Peligros.....	70
3.5. Recursos.	70
3.5.1. Recursos económicos.	71
3.6. Selección del hardware y software para el modelamiento del sistema.	73
3.6.1. Selección del hardware en la zona 1.....	73
3.6.1.1. Zona 1.....	74
3.6.1.2. Selección de sensores.	75
3.6.1.3. Selección de la válvula solenoide solenoide.	77
3.6.2. Elección del hardware de la zona 2.	78
3.6.2.1. Zona 2.....	78
3.6.3. Elección del software.....	79
3.6.3.1. Selección del software de la zona 1.	79
3.6.3.2. Selección del software en la zona 2.	80
3.6.3.3. Software para el diseño de circuito impreso.	81
3.7. Hardware destinado para el sistema.	82

3.7.1. Sensor de Temperatura DHT (11/22).	83
3.7.2. Sensor de Precipitación FC-37.	83
3.7.3. Sensor de humedad del suelo FC-28.	84
3.7.4. Sensor de flujo de agua YF-201.	85
3.7.5. Válvula solenoide HUNTER.	86
3.7.6. Microcontrolador Arduino.	87
3.7.7. Microcontrolador Arduino Leonardo.	87
3.7.8. Modulo XBee S2BPRO.	88
3.7.9. Shield para el módulo XBee VO3.	89
3.7.10. Placa de desarrollo Raspberry PI 3.	89
3.8. Diseño del sistema.	91
3.8.1. Controlador difuso para el sistema de riego.	91
3.8.1.1. Universo de discurso.	91
3.8.1.2. Selección de conjuntos difusos.	94
3.8.1.3. Distribución borrosa.	95
3.8.1.4. Selección de la función de membresía para los conjuntos borrosos.	96
3.8.1.5. Distribuciones borrosas del controlador difuso.	99
3.8.1.4. Reglas Borrosas.	105
3.8.1.6. Mecanismo de inferencia Borrosa.	108
3.8.1.6. Agregado.	109
3.8.1.7. Defusificación.	111
3.8.2. Diagrama de bloques general del sistema inteligente.	111
1.8.3. Topología de la red.	113
1.8.4. Zona 1.	114

3.8.3.1. Diagrama de bloque de la zona 1.....	114
3.8.3.2. Diagrama de flujo de la zona 1.....	115
1.8.4.3.Requerimientos eléctricos de la zona 1.....	120
3.8.4. Zona 2.....	123
2.8.4.1. Diagrama de bloque de la zona 2.....	124
2.8.4.2. Diagrama de flujo zona 2.	124
3.8.4.3. Modo de operación manual.....	129
3.8.4.4. Modo de operación con lógica difusa.....	132
3.8.5.2. Requerimientos eléctricos zona 2.....	136
CAPITULO 4.....	137
4.1. Instalación y ubicación de los componentes.	138
4.2. Escenarios de Prueba.....	140
4.2.1. Primer Escenario.....	140
4.2.1.1. Cultivo de hortalizas.....	140
4.2.1.2. Fuente de agua	143
4.2.1.3. Tiempo y frecuencia de riego.....	143
4.2.1.4. Operación.....	144
4.2.2. Segundo Escenario.	155
4.2.2.1. Cultivo de hortalizas.....	155
4.2.2.2. Fuente de agua	158
4.2.2.3. Tiempo y frecuencia de Riego.....	159
4.2.2.4. Operación.....	159
4.2.2.5. Calculo del caudal de forma empírica de la técnica de riego manual por goteo.....	162
4.2.2.6. Evaluación del consumo de agua del sistema inteligente de riego.	165
4.3. Matriz de confusión.....	171
Conclusiones.....	174
Recomendaciones.	176
Bibliografía	178

Glosario de Términos.....	186
ANEXOS	187

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de una red WSN.....	10
Figura 2. Criterios con creencias y verdades	14
Figura 3. Altura de una persona con conjuntos clásicos.....	15
Figura 4. Altura de una persona con conjuntos difusos.....	16
Figura 5. Estructura a de un controlador difuso.....	17
Figura 6. Conjunto altura de una persona.....	19
Figura 7. Funciones de membresía.....	21
Figura 8. Representación de Intersección entre Conjuntos.....	22
Figura 9. Representación de la Unión entre Conjuntos.....	23
Figura 10. Complemento de un Conjunto.....	23
Figura 11. Método de Mandami.....	26
Figura 12. Resultado del problema en Matlab.....	30
Figura 13. Estructura del modelo en V	34
Figura 14. Sistemas de riego para cultivos hortalizas.....	36
Figura 15. Electroválvula solenoide de Efecto Hall.....	44
Figura 16. Componentes de un sistema embebido.....	45
Figura 17. Características de un sistema embebido.....	46

Figura 18: a) parcela de lechuga y espinaca; b) Parcela de col y culantro; c) invernadero para hortalizas, d) hortalizas a campo abierto.....	52
Figura 19: a) técnica de riego por aspersión; b) las dimensiones de la parcela; c) parcela de lechuga y apio	53
Figura 20: a) crecimiento desigual; b) deformación de la parcela; c) la mortalidad de hortalizas	54
Figura 21. Distribución Zonal.....	63
Figura 22. Foto sensor utilizado dht11.	83
Figura 23. Foto sensor utilizado FC-37	84
Figura 24. Foto sensor utilizado FC-28.	85
Figura 25. Foto sensor utilizado YF-201	86
Figura 26. Válvula solenoide HUNTER.....	86
Figura 27. Placa Arduino Leonardo.....	87
Figura 28. XBee s2bpro	88
Figura 29. Shield Modulo XBee	89
Figura 30. Placa Desarrollo Raspberry Pi3.....	90
Figura 31. Rango de universos de discurso expresadas con Scikit-Fuzzy.....	92
Figura 32. Distribución borrosa del sistema de riego	96
Figura 33. Función de membrecía triangular	97
Figura 34. Función de membrecía de la Temperatura Ambiente.....	99
Figura 35. Distribución borrosa de la Temperatura Ambiente.	100
Figura 36. Función membrecía de la Humedad de Ambiente.	101
Figura 37. Distribución borrosa de la Humedad de Ambiente	101
Figura 38. Función de membrecía de la Precipitación.....	102

Figura 39. Distribución borrosa de la Precipitación	102
Figura 40. Función de Membrecía del conjunto humedad del suelo	103
Figura 41. Distribución borrosa de la humedad del suelo.	103
Figura 42. Función de membrecía del Tiempo	104
Figura 43. Distribución borrosa del Tiempo de riego.....	105
Figura 44. Abreviación de los conjuntos borrosos del sistema difuso.....	106
Figura 45: Diagrama de bloques general del sistema	112
Figura 46. Topología de la red WSN del sistema de riego	113
Figura 47. Diagrama de Bloque de la zona 1.....	115
Figura 48. Diagrama de flujo de la zona 1.....	119
Figura 49. Diseño placa de circuito impreso en KICAD.....	120
Figura 50. Esquema eléctrico de la zona 1 placa 1 en Kicad.....	121
Figura 51. Esquema eléctrico de la zona 1 placa 2 en Kicad.....	122
Figura 52. Esquema eléctrico de la zona 1 vista general.	123
Figura 53. Diagrama de bloques de la zona 2.....	124
Figura 54. Ventana inicial de la interfaz gráfica.....	127
Figura 55. Esquema básico de ingreso al sistema.....	128
Figura 56. Segunda ventana de acceso a la interfaz gráfica	128
Figura 57. Modo de operación con método manual y lógica difusa.....	129
Figura 58. Configuración manual paso 1	130
Figura 59. Configuración manual paso 2.....	130
Figura 60. Configuración manual paso 3.....	131
Figura 61. Configuración manual paso 4.....	131
Figura 62. Evidencia del funcionamiento del sistema modo manual	132

Figura 63. Configuración lógica difusa paso 1	132
Figura 64 Configuración lógica difusa paso 2	133
Figura 65. Configuración lógica difusa paso 3	133
Figura 66. Diagrama de flujo de la zona 2.....	135
Figura 67. Diagrama de conexión eléctrico de la zona 2.....	136
Figura 68: a) Arduino y Xbee; b) tomacorriente 110 VAC;c)fuelle electrica 12 VDC.....	138
Figura 69: a)Fuente de agua del sistema de riego con lógica difusa	139
Figura 70: a) fuente de agua; b) fuente eléctrica, Arduino, Xbee.....	139
Figura 71. Preparación de la parcela para las hortalizas.....	141
Figura 72. Hortalizas cultivadas en la parcela.	141
Figura 73. Visualización de los datos en la interfaz grafica	142
Figura 74. Tiempo de riego calculado con Matlab	146
Figura 75. Hortalizas en el primer periodo; a) Contorno de la superficie de la parcela; b) tres remolachas	151
Figura 76. Hortalizas en el segundo periodo; a) Perfil de la parcela de hortalizas.....	152
Figura 77. hortalizas en el tercer periodo.....	152
Figura 78. Hortalizas en el cuarto periodo.....	153
Figura 79. a) parcela para riego con lógica difusa; b) parcela para riego manual por goteo.	156
Figura 80. Instalación del canal de riego; a) parcela con riego inteligente y goteo; b) parcela con riego manual por goteo.....	156
Figura 81: Finalización de la siembra; a)parcela con riego con lógica difusa y goteo; b)parcela con riego manual por goteo.....	157
Figura 82. Estado del sistema de riego mediante un Smartphone	158

Figura 83. Primer riego; a) parcela con riego con lógica difusa y goteo; b) parcela con riego manual por goteo.....	160
Figura 84. Operación del sistema con lógica difusa incluyendo automatización	161
Figura 85. Hortalizas en el primer día; a) parcela con riego empleando lógica difusa y goteo; b) parcela con riego manual por goteo.....	162
Figura 86. Recipiente para medir el caudal de la técnica manual de riego por goteo	163
Figura 87. Cronómetro utilizado para esta prueba.....	163
Figura 88. Ubicación correcta del recipiente	164
Figura 89 Llenado del recipiente	164
Figura 90. Primer periodo; a) parcela con riego empleando lógica difusa y goteo; b) parcela empleando riego manual por goteo; c) sensor de humedad.....	167
Figura 91. Segundo periodo; A) parcela con riego empleando lógica difusa; B) parcela con riego manual por goteo	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Función de membresía del conjunto altura de una persona.....	20
Tabla 2 Función de pertenencia de 1.70 del conjunto altura de una persona	24
Tabla 3 Pasos que especifica la norma IEEE29148.....	31
Tabla 4 Pasos del modelo en V	34
Tabla 5 Factores que involucra un Sistema de Riego.	36
Tabla 6 Familia de hortalizas	38
Tabla 7 Descripción de cada sensor y su magnitud	41
Tabla 8 Hardware para aplicaciones IoT.	46
Tabla 9 Cuestionario de preguntas.....	55
Tabla 10 Conclusiones de las técnicas de recolección de información.	58

Tabla 11 Ventajas y Desventajas de las tecnicas de riego por aspercion y goteo.....	58
Tabla 12 Estado de actividad de proyectos vinculados a métodos de riego en La Pradera	59
Tabla 13 Definición de Acrónimos y Abreviaturas	61
Tabla 14 Stakeholders involucrados en la investigación	64
Tabla 15 Requerimientos indirectos destinados para el desarrollo sistema.....	65
Tabla 16 Requerimientos iniciales del sistema.	66
Tabla 17 Requerimientos funcionales de hardware y software a utilizarse.....	68
Tabla 18 Recursos Humanos.....	71
Tabla 19 Requerimientos Económicos	71
Tabla 20 Función que cumple cada software del sistema.	72
Tabla 21 Selección hardware y software en la zona 1	74
Tabla 22 Elección de la tecnología inalámbrica.	74
Tabla 23 Requerimientos del sensor de Temperatura.....	75
Tabla 24 Elección del Sensor de Precipitación (Presencia lluvia).....	76
Tabla 25. Selección del sensor humedad del suelo.....	76
Tabla 26 Elección del sensor de flujo de agua.....	77
Tabla 27 Elección de la Válvula solenoide Solenoide.....	78
Tabla 28 Requerimientos del sistema embebido.....	79
Tabla 29 Requerimientos de software destinados en la Zona 1	79
Tabla 30 Requerimientos del sistema operativo del sistema embebido.....	80
Tabla 31 Selección del Software Para la Interfaz Gráfica	81
Tabla 32 Requerimiento del software del circuito impreso	82
Tabla 33 Especificaciones técnicas del foto sensor DHT11	83
Tabla 34 Especificaciones técnicas del foto sensor FC-37.	84

Tabla 35 Especificaciones técnicas del sensor FC-28.	85
Tabla 36 Especificaciones técnicas del sensor YF-201.	86
Tabla 37 Especificaciones técnicas de la válvula solenoide HUNTER.	87
Tabla 38 Especificaciones técnicas del Arduino Leonardo.	88
Tabla 39 Especificaciones técnicas del módulo XBEE-S2B-PRO.	88
Tabla 40 Especificaciones técnicas del shield XBEE versión 3.	89
Tabla 41 Especificaciones Técnicas Raspberry Pi3.	90
Tabla 42 Conjuntos borrosos del sistema de riego.	95
Tabla 43 Instrucciones que declara la función de membrecía con “Scikit Fuzzy”.	97
Tabla 44 Funciones de membrecía del Controlador difuso de riego.	97
Tabla 45 Instrucciones que activan las funciones de membrecía.	98
Tabla 46 Instrucciones que activa las funciones de Membrecía del Control Difuso.	98
Tabla 47 Base de datos de reglas difusas.	106
Tabla 48 Estructura del mensaje de envió de la zona 1.	116
Tabla 49 Requerimiento eléctrico de los componentes.	120
Tabla 50 Formato de recuperación de las variables en la Zona 2.	126
Tabla 51 Características de la fuente de agua.	143
Tabla 52 Periodos del primer escenario.	145
Tabla 53 Registro de la base de datos del primer periodo.	145
Tabla 54 Registro de la base de datos del segundo periodo.	148
Tabla 55 Registro de la base de datos del tercer periodo.	149
Tabla 56 Ciclo de evolución de las hortalizas primer escenario.	150
Tabla 57 Aspectos detectados en el primer día desde la siembra.	165
Tabla 58 Periodos del segundo escenario.	167

Tabla 59 Aspectos detectados en el primer periodo.	167
Tabla 60 Consumo de agua de las dos técnicas de riego	169
Tabla 61 Consumo de agua del segundo periodo	170
Tabla 62 Modelo de representación Matriz de Confusión.....	171
Tabla 63 Predicciones para la matriz de confusión.....	171
Tabla 64 Modelo de la matriz de confusión del sistema de riego con lógica difusa	173

RESUMEN

Un sistema de riego consiste en una serie de procedimientos organizados destinados a suministrar agua en zonas que presentan características adecuadas para cultivar; se compone por varios elementos, tales como: tuberías, mangueras, llaves hidráulicas, electroválvulas y principalmente por las condiciones ambientales. La mayoría de las hortalizas requieren de un nivel de humedad del suelo aceptable durante el ciclo de producción, de esto dependerá que sea apto para el consumo humano, por lo tanto, es indispensable suministrar en todo momento la cantidad de agua que requieran las hortalizas mediante un adecuado sistema de riego. Un sistema de riego por lo general obedece a ciertas condiciones ambientales como: Temperatura Ambiente, Humedad del ambiente, Precipitación, Humedad del Suelo y Luminosidad.

En la Granja La Pradera la técnica de riego que ha perdurado en la zona de hortalizas es por goteo por la facilidad de implementación y costo reducido, sin embargo, el empleo de esta técnica ha generado algunos problemas, tales como: mortalidad en algunas hortalizas, deformación de la parcela a causa de riegos en horarios inadecuados y un crecimiento desigual en las hortalizas por una distribución no uniforme en el suministro de agua.

En el presente proyecto se aborda el desarrollo de un moderno sistema inteligente basado en lógica difusa para cultivos de hortalizas, el control está conformado por entradas y salidas del sistema difuso, las entradas son los factores ambientales y la salida le corresponde al tiempo de riego. Esta técnica de riego es gestionada mediante una interfaz gráfica que permitió la automatización del riego sin la intervención del operador. Finalmente, se demostró que durante las pruebas realizadas en dos escenarios se logró evidenciar un ahorro utilizando la técnica de riego con lógica difusa al ser comparada con la técnica de riego manual por goteo.

ABSTRACT

An irrigation system consists of a series of organized procedures designed to supply water in areas that have adequate characteristics to cultivate; It consists of several elements, such as: pipes, hoses, hydraulic valves, solenoid valves and mainly due to environmental conditions. Most vegetables require a level of soil moisture acceptable during the production cycle, this will depend that is suitable for human consumption, therefore, it is essential to supply at all times the amount of water required by vegetables an adequate irrigation system. An irrigation system usually obeys certain environmental conditions such as: Ambient Temperature, Humidity of the environment, Precipitation, Soil Moisture and Luminosity.

In La Pradera Farm the irrigation technique that has lasted in the vegetable area is drip because of the ease of implementation and reduced cost, however, the use of this technique has generated some problems, such as: mortality in some vegetables, deformation of the plot due to irrigation at inappropriate times and unequal growth in vegetables due to a non-uniform distribution in the water supply.

The present project addresses the development of a modern intelligent system based on fuzzy logic for vegetable crops, the control consists of inputs and outputs of the diffuse system, the inputs are the environmental factors and the output corresponds to the time of irrigation. This irrigation technique is managed through a graphical interface that allowed the irrigation automation without operator intervention. Finally, it was demonstrated that during the tests carried out in two scenarios, a saving was achieved by using the irrigation technique with fuzzy logic when compared with the manual drip irrigation technique.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1.Tema:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE PARA CULTIVOS DE HORTALIZAS BASADO EN FUZZY LOGIC EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

1.2. Problema:

La Granja La Pradera es un campus de la Universidad Técnica del Norte, en esta zona continuamente se realizan trabajos de investigación, actividades de desarrollo agrícola, trabajos de titulación, a cargo de la carrera en Ingeniería Agropecuaria de la FICAYA (Facultad en ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales), con el propósito de buscar soluciones que ayuden a mejorar la calidad de producción agrícola, a través de tecnologías que permitan colaborar a la protección de recursos naturales no renovables.

En la Granja La Pradera, el sistema de riego es por gravedad y se realiza mediante un sistema manual que alerta al responsable cuando debe ejecutar el riego, lo cual conlleva ha consecuencias como: posibilidades de crear inundaciones causadas por el riego en horarios que no son necesarios, hortalizas no adecuadas para el consumo, dificultad para regular la cantidad de agua, generando un desperdicio eminente del recurso vital; puesto que, estos llamados “sistemas inteligentes” utilizan lógica de programación clásica, en donde los factores meteorológicos son comparados con valores constantes por lo que, si las hortalizas necesitan condiciones ambientales diferentes estos sistemas quedarían obsoletos, a menos que se realicen una reconFiguración.

Hoy en la actualidad el tema que está generando polémica es el uso de recursos hídricos en los cultivos, ya que en algunas zonas del mundo este líquido vital ya está comenzando a agotarse, la cantidad que existe disponible en todo el mundo y es usada para consumo del ser humano el 70 por ciento se destina para los sistemas de riego, sin embargo, el método que se utiliza en LA Granja LA Pradera es por gravedad y de forma manual causando los problemas ya anteriormente mencionados. Un estudio de riego inteligente a demostrado un ahorro de agua del 40 por ciento. (María Guijarro Mata-García; Estefanía Tortajada Agudo; Fernando González Rivas, 2006-2007).

Existen proyectos de sistemas de riego que se han realizado en la Granja La Pradera, permiten el control y monitoreo para cultivos de ciclo corto y bajo invernadero, donde se enfocan en la obtención de datos emitidos por sensores que miden constantemente los parámetros de temperatura ambiente, humedad del ambiente, luminosidad, almacenarlos en una plataforma en la nube y basados en tecnologías IEEE802.15.4, en ambos casos el riego se lo realiza de forma manual, cuando los sistemas envían alertas mediante correo electrónico sobre el estado y monitoreo de los cultivos a los responsables de ejecutar el riego, lo que se quiere con este proyecto es que el riego se realice sin la intervención del ser humano más que un monitoreo esporádico, además la mayoría de sistemas de riego son bastante limitados: evitan regar a determinadas horas, pueden ajustarse a la temperatura, en estas condiciones se plantea: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE BASADO EN FUZZY LOGIC PARA CULTIVOS DE HORTALIZAS EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. General.

Diseñar un sistema de riego inteligente basado en fuzzy logic para cultivos de hortalizas en la granja La Pradera de la Universidad Técnica Del Norte

1.3.2. Específicos.

- Realizar un estudio de las técnicas que utilizan los sistemas de riego actuales.
- Determinar los requerimientos de hardware y software para el diseño del sistema riego inteligente.
- Diseñar el sistema de riego inteligente en base a los requerimientos establecidos.
- Integrar los componentes de hardware y software para el sistema de riego inteligente.

1.4.Alcance

Recolectar información necesaria que sustente el desarrollo del tema, definición de sistemas inteligentes, inteligencia artificial basada en FUZZY LOGIC o lógica difusa, analizando información de, entrevistas, tesis, bases de datos bibliográficas que hablen sobre los sistemas de riego inteligentes actuales, protocolos, estándares, que se utilizan en países desarrollados, y los que se encuentran implementados en el Ecuador.

Con la fundamentación teórica adecuada, establecer los requerimientos necesarios, se inicia el esquema del diseño a proponer, para presentar de mejor manera se realizarán los siguientes pasos; establecer los requisitos del sistema mediante la norma ISO/IEC/IEEE 29148, y se complementara con el modelo en “V” que garantice el ciclo de vida de desarrollo del sistema, primer nivel análisis de la situación actual y los principales requerimientos de los sistemas de riego actuales, segundo nivel análisis de requerimientos para determinar las actividades que va realizar el sistema de riego y seleccionar los componentes hardware y

software en base a la norma ya mencionada, tercer nivel implica el diseño del sistema de riego inteligente basado en lógica difusora en función de la información recopilada además de la programación que se utilizara en base a lógica difusa, cuarto nivel es la verificación del funcionamiento del riego inteligente basado en la lógica difusora para posteriormente realizar la implementación.

Determinados los requerimientos para la construcción del sistema de riego inteligente, y con todos los componentes de hardware y software necesarios, se procede a realizar el diseño e integración del prototipo, además de evitar el uso de plataformas que actualmente han sido demasiada utilizados, por lo tanto se tendría una gama de plataformas de hardware que nacen cada año tales como: raspberry-pi, BlackBeagleBone, piduino, Intel Galileo que prestan mejores características de procesamiento, menor errores en la transmisión de los datos.

Este prototipo realizará el procesamiento de los datos proporcionados por sistema de riego actual, y utilizando FUZZY LOGIC, una lógica programable idéntica a las decisiones que toman los seres humanos, pero con mayor rapidez frente a situaciones de incertidumbre, se plantean las combinaciones posibles a las que se podría exponer el sistema de riego y asimismo las posibles respuestas, para que éste prototipo pueda tomar decisiones por sí solo y ejecutar el riego sin acción del hombre; obteniendo un sistema robusto y tolerante a imprecisiones y ruidos en los datos de entrada, encaminándose al concepto de inteligencia artificial.

Finalmente se realizarán las pruebas de funcionamiento y una comparación de los diferentes sistemas de riego que se han implementado hasta hoy; dos sistemas de riego que emplean técnica manual implementadas en cultivos en la Granja la Pradera, el sistema

automático por goteo en plantaciones de fresa bajo invernadero en la Granja YUYUCOCHA, y determinar si el sistema de riego inteligente es el más óptimo.

1.5. Justificación

Cumpliendo con el marco de la constitución de la república del Ecuador, el cual hace hincapié en los siguientes artículos:

“Título II-Derechos-Artículo 13: Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales”.

“TÍTULO VI RÉGIMEN DE DESARROLLO Capítulo tercero-Soberanía alimentaria: Art. 281.- La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente” (Montecristy, 2010).

Además de cumplir con LA GUIA DE BUENAS PRACTICAS AGROPECUARIAS aprobadas en la resolución 0037, entre el ministerio de agricultura y Agro calidad (Ministerio Agricultura Ecuador, 2015).

La Universidad Técnica del Norte se encuentra ubicada en la zona 1 dentro de la Estrategia territorial Nacional (ETN). El cambio de la matriz productiva para la zona 1 se enfoca en 4 áreas estratégicas, tomando en cuenta que la actividad que genera mayor productividad es la agricultura, los lineamientos donde aporta el SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE es VALOR AGREGADO DE LA PRODUCCIÓN EXISTENTE “Incentivar la asociatividad y fortalecimiento tecnológico de las micro, pequeñas y medianas empresas, a

fin de promover mayor valor agregado y productividad en los procesos de producción agropecuaria y agroindustriales de la zona. Impulsar diversificación productiva en sistemas de producción sostenibles y sustentables, además de la construcción de tecnología en riego, mejoramiento de suelos, gestión del conocimiento para mejorar las líneas de producción agropecuaria en el mercado, con el fin de fortalecer los productos estratégicos que garanticen la soberanía alimentaria y la agro exportación (consumo nacional e internacional), considerando distintos modelos de producción de acuerdo a la racionalidad de los productores, especialmente de la agricultura familiar (SENPLADES, 2013-2017). “Garantizar el acceso al recurso del agua, para mejorar la infraestructura productiva de riego que permita fortalecer la productividad agropecuaria y piscícola de pequeña escala, impulsando proyectos de riego dirigidos a fortalecer la agricultura familiar y la soberanía alimentaria”.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se aborda temas que se aplican al desarrollo de este proyecto, tales como: tecnologías inalámbricas, red WSN, sistemas inteligentes, control basado en lógica difusa, sistemas de riego, normas y metodologías.

2.1. Tecnologías inalámbricas.

Estas tecnologías complementan la infraestructura de redes cableadas, permitiendo movilidad tanto de usuarios como dispositivos móviles en una zona de cobertura que generalmente es difícil de alcanzar por medios físicos, por lo tanto, las redes inalámbricas se vuelven elementales a la hora de implementar sistemas inteligentes por la simplicidad de su arquitectura y múltiples aplicaciones en diferentes ambientes como el caso de la medicina, transporte, agricultura, seguridad, entre otros.(Stallings, 2014; Saigua Carvajal *et al.*, 2017)

Una de las tecnologías con vigente crecimiento y que presenta mayor demanda en el entorno de las TIC¹ es una red WSN², misma que se conoce como red inalámbrica de sensores.

2.1.1. Principales tecnologías inalámbricas

Existe una variedad de tecnologías inalámbricas disponibles para la creación de sistemas que requieran mecanismos de comunicación las cuales se clasifican según los parámetros técnicos, tales como: velocidad de transmisión, frecuencia de operación, capacidad de procesamiento; por lo tanto, se describe en conceptos generales las tecnologías más conocidas.

¹ TIC: Tecnologías de la información y Comunicación

² WSN: Red de Sensores Inalámbrica.

WWAN. – Red inalámbrica de área extensa, es una red de gran amplitud de cobertura que alcanza comunicaciones entre distintos puntos alrededor del planeta, como una red globalizada que envuelve toda una región, sin mencionar la complejidad frente a otras tecnologías considerando que son más costosas y más críticas de instalar. Teóricamente requieren de un espectro radioeléctrico licenciado, la cual es capaz de interconectar varias redes WMANs, por mencionar los siguientes ejemplos: las redes celulares (2G, 3G, 4G,³ LTE Advanced⁴) analógicas como digitales y las comunicaciones satelitales (televisión, voz y datos).

WMAN.- Red inalámbrica de área metropolitana, es empleada para coberturas conformadas por áreas metropolitanas, como también, ciudades, campus universitarios, interconexión de varias WLANs con longitudes de radio frecuencia en centímetros y estándares LMDS⁵. Opera sobre los 20 GHz alcanzando distancias de 5 Km a velocidades de 8Megabits por segundo, está basada en el protocolo MMDS⁶ para frecuencias de 2.5 y 2.7 GHz donde prestan velocidades de 3 Megabits por segundo; las soluciones WiMax basadas en el estándar IEEE⁷ 802.16, IEEE 802.20 para comunicación ip en dispositivos móviles de alta velocidad como el caso de enlaces troncales para empresas de telecomunicación.

WLAN. – Red inalámbrica de área local, definida en redes no licenciadas, son más económicas que otras tecnologías, con frecuencias de operación de 2.4GHz y 5GHz; necesitan en ambientes indoor (cafeterías, hoteles, hogares, hospitales) y con cobertura menor a 100 metros. Está basada en el estándar IEEE802.11 con sus diferentes familias de

³ 2G,3G,4G: Evolución de las tecnologías de celular.

⁴ 4G Advanced: Tecnologías de Cuarta Generación Avanzada.

⁵ LMDS: Local Multipoint Area Service

⁶ MMDS: Multichannel Multipoint Distributed Service

⁷ IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

protocolos (802.11a/b/g) con velocidades entre 2 y 1.2 Gigabits por segundo según su estándar; la versión que actualmente es más utilizada es el 802.11G que trabaja a 2.4GHz con una velocidad de 54 Megabits por Segundo.

WPAN. - Red inalámbrica de área personal, son redes que proporcionan conectividad a distancias menores a 10m, están basadas en el protocolo IEEE802.15, por ejemplo: Bluetooth IEEE802.15.1 , Zigbee IEEE802.15.4, la reciente tecnología LiFi IEEE802.15.7, tecnología RFID 802.15.4f que opera con las frecuencias del rango ultra wide band de 3.1 a 10.6GHz. Una WPAN puede llegar a velocidades de 500Megabits/segundo[Mbps].

WBAN.- Red inalámbrica de área corporal, enlaces menores de 2 metros, basadas en el estándar IEEE 802.15.6 de 6.4 a 8.7 GHz con velocidades de 970Kbps; IEEE a definido el uso de esta tecnología en dos áreas, médicas y no médicas.

En el **ANEXO 1** se resume en una Tabla algunas características de las tecnologías inalámbricas descritas anteriormente

2.2. Redes de sensores inalámbrica (WSN)

Una red de sensores inalámbrica es una infraestructura que consta de sensores, computación y cierto número de componentes electrónicos de comunicación, donde un administrador es capaz de actuar frente a eventos, fenómenos en un ambiente específico y con un aumento en la durabilidad de la vida útil de sus baterías al tener un reducido consumo de potencia. Para (Saigua Carvajal *et al.*, 2017) las Redes de Sensores Inalámbricos es la tecnología recientemente emergente que se ha extendido considerablemente hacia la monitorización de entornos naturales, aplicaciones para la defensa y aplicaciones médicas en observación de pacientes entre otras, además de la inclusión de trabajos relacionados entre los que se incluye la monitorización de rebaños de bovinos a través de redes de sensores

inalámbricos, así como la Aplicación del Modelado Específico de Dominio a las Redes de Sensores Inalámbricos, las posibles soluciones de interconexión para la automatización industrial.

2.2.1 Elementos de una red WSN.

Una red WSN se conforma de cuatro elementos, tales como: un procesador de distribución o coordinador de sensores, un inter-conector de red (enrutador), un nodo central de información (Estación Base) y la red inalámbrica hacia el nodo central para mantener los datos correlacionados. La Figura 1 muestra los elementos de una red WSN.

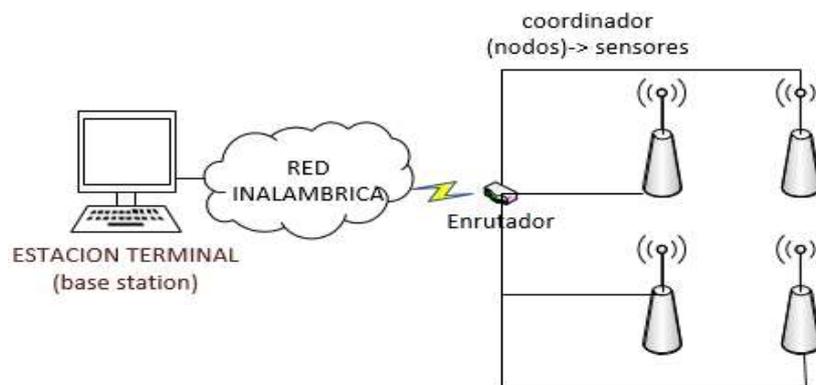


Figura 1. Elementos de una red WSN
Fuente: (W.Stallings, 2008)

2.2.1.1. Coordinador

Estos nodos se comunican con un nodo Gateway (enrutador) o un nodo coordinador, consumen menos recursos de cómputo y usualmente son alimentados a batería. Son dispositivos de funcionalidad reducida según el estándar IEEE 802.15.4

Entre sus importantes funciones consisten en modificar y configurar los parámetros de la red WSN, tales como: potencia de transmisión, velocidad de comunicación, frecuencia de operación etc.

2.2.1.2. Enrutador (Gateway).

Es el dispositivo encargado de conectar diferentes redes utilizando técnicas y protocolos en cada grado de comunicación, no debe hacer las funciones de un coordinador, la ventaja es que aumenta la cobertura de la red, establece los caminos adecuados para enviar la información por lo que la hace más confiable.

2.2.1.3. Estación Terminal

Son nodos que se encargan de recolectar información del entorno, por ejemplo, variables ambientales y que están conectados a un enrutador o a su vez un coordinador. Se caracterizan por ser los más pequeños de toda la red WSN con el fin de generar el menor procesamiento; la comunicación con el enrutador del mismo modo con el coordinador lo hacen de forma inalámbrica, además se alimentan con la menor cantidad de potencia según lo establece el estándar IEEE 802.15.4 y están conectados a baterías.

2.2.1.4. Medio Inalámbrico.

Es el entorno no guiado, también conocido como el camino que permite la interconexión de todos los componentes de la red WSN, que para el propósito de esta investigación se definirá mediante la tecnología ZIGBEE. La especificación técnica de este estándar manifiesta la topología, la frecuencia de trabajo. Este componente estará basado en un protocolo abierto (se utilizará cualquier tipo de protocolo) con un estándar IEEE 802.15.4. (Sanmartin A & Alvarez, 2018)

2.3. Sistemas inteligentes

Desde hace varios años, se desarrollaron investigaciones con un amplio renombre acerca de estos sistemas, donde algunas de ellas son expuestas por (Sobrino, 2013; Mikkelsen, 2017) que definen a un sistema inteligente aquel que está conformado con técnicas que provienen de la inteligencia artificial cuyas características y funcionalidades se asemejan a las de un ser humano; son capaces de razonar y actuar frente a situaciones semejantes a las de una persona. Se definen por una serie de instrucciones o algoritmos computacionales que le permiten generar una rápida respuesta automática, inmediata y muy eficiente.

Según (Cruz, 2014) y (R.BELOHLAVEK, 2011) mencionan que para hablar de sistema inteligente debe existir un entorno en el cual éste interactúe con él, done imite los sentidos humanos; son capaces de recibir y transmitir información con un fin determinado.

2.3.1. Inteligencia artificial

A lo largo de la historia el ser humano constantemente a buscado soluciones que faciliten sus actividades diarias, donde la invención de las primeras herramientas mejoro significativamente su calidad de vida, sin embargo, con el pasar del tiempo la mentalidad del hombre se trazó nuevos horizontes hasta alcanzar la ideología de que dichos inventos rústicos pueden ser capaces de operar independientemente.

(Ceruto *et al.*, 2014; Russell and Norvig, 2014) proponen que la inteligencia es el grado en que un individuo puede resolver satisfactoriamente un problema y artificial es lo hecho artesanalmente por la creatividad del hombre; artificial también es definido como lo falso o lo no natural y como consecuencia de ello es la “Inteligencia Artificial”.

2.3.2. Técnicas inteligentes.

El análisis de un razonamiento comprende ciertas técnicas inteligentes, también conocidas como los campos que juntas conforman la Inteligencia Artificial; las técnicas principales son cuatro, tales como: Robótica, Redes Neuronales, Lógica Difusa y Algoritmos Genéticos. El presente proyecto está enfocado en Lógica Difusa por lo que a continuación se detalla.

2.3.3. Lógica Difusa.

Es una herramienta muy eficiente que se aplica en sistemas de control, es extensamente utilizada en diferentes áreas de ingeniería, tales como: la industria química, la robótica, procesos biológicos, sistemas basados en automatización, la cual fue desarrollada para reemplazar las actividades repetitivas que realiza el hombre, ya que en ocasiones estos suelen presentarse difíciles y riesgosos de controlar. Es considerada la forma de como el ser humano percibe su entorno en el mundo real; son situaciones o momentos inciertos, por ejemplo: diversos criterios sobre el proceso de estado de secado y mojado de prendas de vestir, la velocidad de un vehículo en una carretera, la temperatura que predomina en una habitación entre otros. Lógica difusa se expresa comúnmente en un lenguaje vago, distorsionado, impreciso, borroso y su conceptualización varía de persona en persona. Las siguientes situaciones evidencian la presencia de información no tan certera o imprecisa identificadas en casos cotidianos: cuando un vehículo se moviliza rápido o lento, la humedad del suelo puede estar seca o húmeda, donde claramente se conforman de conceptos vagos y pueden cambiar de un observador a otro. (Sobrino, Barro, 1993) y (Novák, 2017)

(D.Guzman, Castaño, 2006) propone que lógica difusa consiste en asignar a un determinado elemento un valor que en lenguaje difuso expresa el porcentaje de pertenencia

sobre algún conjunto, ya que numéricamente se localiza cerca del mismo, ejemplo: el análisis enfocado en la Temperatura Ambiente, donde 29.9 centígrados[^aC] es 98% perteneciente al conjunto CALIENTE, 50 % perteneciente al conjunto Tibio y 10% perteneciente al conjunto Frio.

En literatura difusa una afirmación puede expresarse con una gama de valores entre 0 y 1, a diferencia de la lógica clásica que define dos valores (0 o 1), donde el resultado es la generación de nuevos cuerpos o modelos matemáticos. Existe información ampliamente documentada en distintos ámbitos sobre la aplicación de lógica difusa que fue desarrollada hace varios años atrás, entre las más relevantes son: en 2004 se publicó un libro sobre aritmética difusa, 2003 acerca del algebra difusa, ecuaciones diferenciales difusas expuestas en 2008, cálculos difusos aplicado en finanzas 2008 y en 2012 un libro acerca de la teoría de la alternativa de tratamiento de la información con incertidumbre con lógica difusa. Generalmente propone un debate entre dos pensamientos, tal como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Criterios con creencias y verdades
Fuente: (Xavo, 2013)

2.3.3.2. Ventajas de controladores difusos.

Las principales ventajas de los controladores difusos fijadas por (D.Guzman, Castaño, 2006) son las siguientes:

- El controlador no requiere identificar el modelo convencional

- Evita aproximaciones del modelo
- No necesita realizar procesos lineales, simplicidad para realizar el diseño del controlador difuso, basándose únicamente en el conocimiento y la experiencia del operador o el experto.

2.3.3.3. Conjuntos clásicos vs difusos.

La ciencia de los conjuntos difusos manifiesta su origen de los conjuntos clásicos, para comprender esta expresión se considera el siguiente caso: se pretende determinar la altura correspondiente de un cierto número de personas, donde la técnica de conjuntos clásicos los asocia en varios grupos (altos, medianos y bajos); se requiere extraer un valor promedio de altura que permita identificar del resto de elementos sobre el conjunto al cual pertenece. Si la altura promedio de una persona es 1.50 metros, los elementos que superen este valor pertenecen al conjunto de los altos y por deducción los elementos que se encuentren menor a ese valor pertenezcan al conjunto de los bajos, no existe otra posibilidad de pertenencia, cumpliéndose con la característica que plantea la teoría de conjuntos clásicos, donde un elemento obligatoriamente pertenece o no a un determinado conjunto. Típicamente el caso de altura de una persona tratada con conjuntos clásicos, tal y como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Altura de una persona con conjuntos clásicos.
Fuente: (Hernandez, 2015)

Se identifica un valor promedio del tamaño de todo el universo de discurso, con esta condición se establece si el próximo elemento es alto o bajo, donde solo puede pertenecer a un solo conjunto y no a otro conjunto.

En el caso de los conjuntos difusos todos los elementos señalan la posibilidad de pertenecer a diferentes conjuntos, lo que no sucede con los conjuntos clásicos. En el caso de la altura de una persona se expresaría tal y como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Altura de una persona con conjuntos difusos.
Fuente: (Hernandez, 2015)

2.3.4. Estructura de un sistema con control difuso.

La estructura elemental que constituye el diseño de control con lógica difusa son las siguientes etapas: conjuntos difusos, funciones de membresía, operaciones difusas (borrosas), fusificación, reglas difusas, inferencia, agregado y defusificación. La Figura 5 muestra la estructura de un control con lógica difusa.

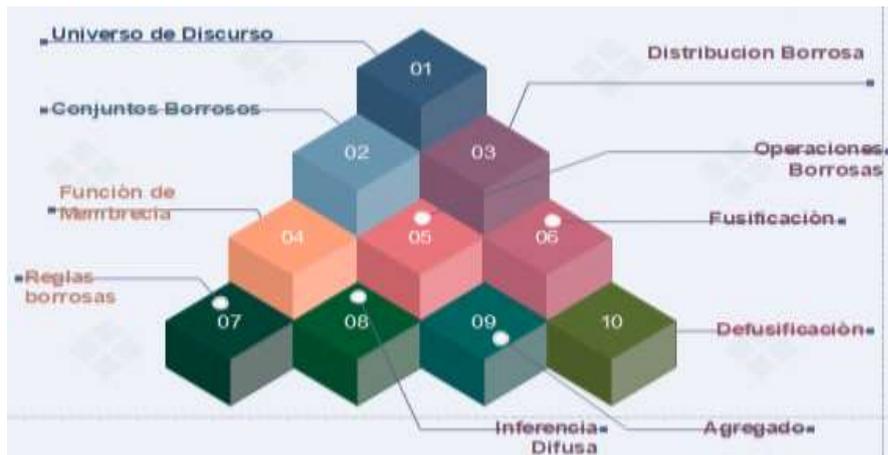


Figura 5. Estructura de un controlador difuso
Fuente: Elaborada por el Autor

2.3.4.1. Universo de discurso.

Es el rango de posibles valores que puede tomar cada elemento perteneciente a una variable que se considera como un término de discurso representado con un valor lingüístico, como el caso de la Temperatura Ambiente que predomina en un invernadero, cuyos valores pueden presentarse en un rango entre 0 y 40 grados centígrados.

En resumen, el universo de discurso se define como la totalidad de elementos que son el objeto de estudio; en el caso de la Figura 4 se considera la siguiente expresión matemática: $X \in [1.2; 2.5]$ metros, donde X represente el universo de discurso y cuyo rango es considerado de 1.2 hasta 2.5 metros.

2.3.4.2. Conjuntos difusos.

Como se ha descrito anteriormente, la literatura de conjuntos clásicos propone ciertas limitaciones, las cuales establecen el espacio de discurso con perfiles claros, donde un elemento considera dos posibilidades como pertenecer o no a un determinado conjunto; absolutamente no generan valores intermedios. Los conjuntos difusos son una extensión de los conjuntos clásicos, donde el mismo componente se distribuye en más de un conjunto; su

probabilidad de pertenencia se balancea dependiendo del conjunto al cual corresponda, cuyo grado de pertenencia adquiere un número real que se define en el rango de $[0,1]$.

(George J. Klir and Bo Yuan, 1995) y (J.Ross, 2017) matemáticamente definen que los conjuntos difusos es asignar para cada posible elemento del universo de discurso un valor que represente el grado de pertenencia en dicho conjunto difuso.

En ambientes de riego es habitual que se susciten numerosos eventos, estos representan información que en particularidad son datos meteorológicos, están presentes de forma imprecisa e incierta sin fronteras claras, donde los conjuntos difusos permiten adecuar esos ambientes de incertidumbre y asociarlos a un determinado valor cuantificador (muy, demasiado, poco). (Delgado, 2012) descubrió el modo de relacionar la información imprecisa con conjuntos difusos estableciendo la siguiente observación: si los cuantificadores lingüísticos se pueden aplicar a cualquier variable de estudio, este se comporta y se plantea como un conjunto borroso.

En lógica difusa un conjunto es considerado borroso cuando se manifiestan con las siguientes características: no existen valores exactos que ayudan a comprobar la veracidad de su objetividad y sus valores intermedios están relaciones con conceptos asociados a un lenguaje impreciso.

2.3.4.3. Distribución Borrosa.

Las variables borrosas admiten diversas particiones y el resultado son varios subconjuntos difusos. Según (Isabel, 2012) existen ciertas condiciones en la elaboración del número de divisiones, estos son: el total de particiones debe ser un número impar (3,5,7), las particiones deben ser completas (envolver totalmente al conjunto) y el porcentaje de coincidencia entre particiones (solapamiento) debe ser del 20% al 50%.

2.3.4.4. Función de membresía.

Es el grado de pertenencia que adquiere un elemento al definirse internamente en un universo de discurso con un valor numérico entre 0 y 1(0.1,0.5,0.8), el cual está ligado a un cierto valor lingüístico que matemáticamente se representa como $u(x)$ y pueden presentarse tantos valores según la experiencia del operador. Esta afirmación se muestra gráficamente en la Figura 6 considerando el ejemplo de la altura de la persona.

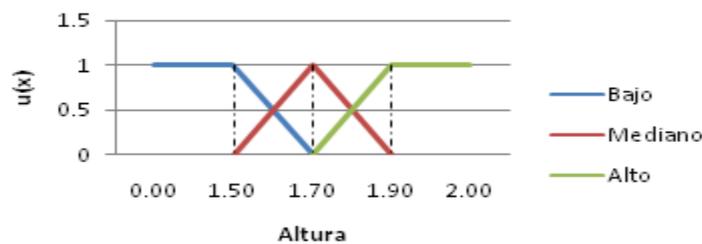


Figura 6. Conjunto altura de una persona.
Fuente: (Mendoza, 2009).

La Figura 6 revela la siguiente información: como universo de discurso es la altura de una persona y se representa matemáticamente con la ecuación 1.

$$A = \{(x, uA(x) | x \in X)\} \quad (1)$$

Dónde: $A = \{(1.5, 1.7, 1.90) \rightarrow (\text{Bajo}, \text{Mediano}, \text{Alto})\}$

Conjunto Difuso {Altura de una Persona}

Subconjuntos Difusos {Bajo, Mediano, Alto}

Las variables que son objeto de estudio se comportan como conjuntos difusos, donde declaran la factibilidad de contener subconjuntos. Esta afirmación se evidencia fácilmente en el caso de la altura de una persona mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1
Función de membrecía del conjunto altura de una persona

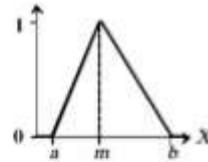
Componente	Función de membrecía	Subconjunto
1.50	0	Altos
	1	Bajos
1.70	1	Medianos
	0,5	Bajos
1,90	0	Bajos
	1	Altos

Fuente: Elaborada por el Autor

El contexto de una función de membrecía dispone de ciertas series de expresiones matemáticas previamente investigadas y desarrolladas; son constituidas en el lenguaje difuso aportando grandes resultados, generalmente las más prácticas son tres, tales como: la triangular, la trapezoidal y singleton. La Figura 7 muestra las funciones de membrecía descritas anteriormente.

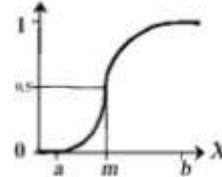
Forma Triangular

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a, m] \\ (b-x)/(b-m) & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



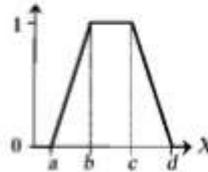
Forma S

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 2\{(x-a)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (a, m] \\ 1-2\{(x-a)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



Forma Trapezoidal

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq a) \vee (x \geq d) \\ (x-a)/(b-a) & \text{si } x \in (a, b] \\ 1 & \text{si } x \in (b, c) \\ (d-x)/(d-c) & \text{si } x \in (c, d) \end{cases}$$



Forma singleton

$$A(x) = \begin{cases} 1 & x = a \\ 0 & x \neq a \end{cases}$$

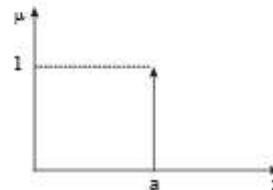


Figura 7. Funciones de membresía.
Fuente: (Anonimo, 2012), pág. 5.

2.3.4.5. Operaciones borrosas.

Consiste en una serie de operaciones entre los distintos conjuntos difusos que permite obtener un resultado definido como un nuevo conjunto difuso que expertos en lógica difusa crearon la solución de estas operaciones; son sentencias del siguiente tipo: IF(si), AND(y), OR(o), THEN(entonces), donde son evaluadas con las mismas teorías pertenecientes a conjuntos clásicos, por ejemplo: la unión, la intersección y el complemento. Cada operación matemáticamente fue expresada en el contenido desarrollado que propuso el padre de esta temática Zadeh, donde propuso las siguientes operaciones principales: intersección, unión y complemento para conjuntos difusos.

Intersección $C = A \cap B$

La solución es evaluada de los valores mínimos contenidos en cualquier función de membrecía de A como de B y se expresa matemáticamente con la ecuación 2. (Alonso, 2008)

$$u_C(x) = \min(u_A(x), u_B(x)) = u_A(x) \text{ and } u_B(x) \text{ para } \forall x \in X \quad (2)$$

Donde:

$u_A(x)$ = grado pertenecía de x en el conjunto A.

$u_B(x)$ = grado de pertenencia de x en el conjunto B.

x = cualquier elemento que puede pertenecer al conjunto A y B.

Gráficamente el resultado se muestra en la Figura 8.

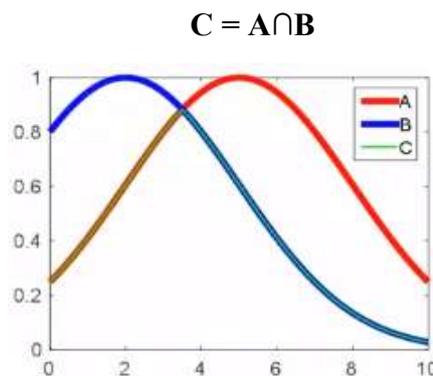


Figura 8. Representación de Intersección entre Conjuntos
Fuente: (Hernandez, 2015).

Unión $C = A \cup B$

La solución es evaluada con los valores máximos (Hernandez, 2015), los cuales están representados por las funciones de membrecía entre A como B y su expresión matemática se expresa en la ecuación 3.

$$u_C(x) = \max(u_A(x), u_B(x)) = u_A(x) \text{ and } u_B(x) \text{ para } \forall x \in X \quad (3)$$

La Figura 9 corresponde al gráfico de la unión entre dos conjuntos.

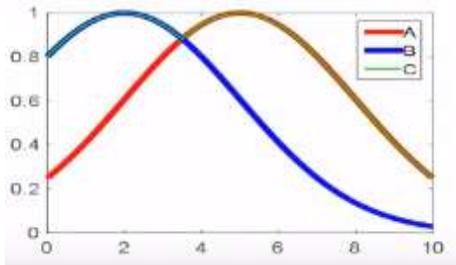


Figura 9. Representación de la Unión entre Conjuntos.
Fuente: (Hernandez, 2015)

Complemento

Se define como todos los elementos que no están en A pero están en el universo de discurso X y su expresión matemática se define con la ecuación 4.

$$\subseteq u_{\sim A}(x) = 1 - u_A(x) \quad (4)$$

La grafica del complemento se muestra en la Figura 10.

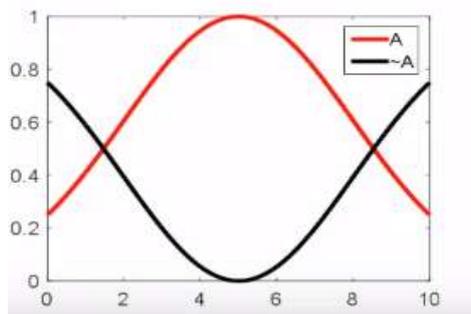


Figura 10. Complemento de un Conjunto
Fuente: (Hernandez, 2015).

2.3.4.6. Fusificación.

Es la etapa de un sistema difuso que transforma los valores medidos por el controlador difuso y está presente en cualquier instante de tiempo. Se conoce como la técnica matemática que convierte a un elemento del universo de discurso en un valor en cada función de membresía. La Tabla 2 representa un ejemplo del proceso de fusificación en el caso altura de una persona.

Tabla 2
Función de pertenencia de 1.70 del conjunto altura de una persona

Conjunto	Altura de una persona
Alto	0
Mediano	1
Bajo	0

Fuente: Elaborada por el Autor.

2.3.4.7. Reglas borrosas.

Forman parte de un controlador difuso las cuales se componen de subconjuntos derivados de un conjunto difuso; son el resultado de la conexión de numerosos subconjuntos difusos considerados de entrada que producen nuevos subconjuntos difusos considerados consecuentes o de salida. Son afirmaciones del siguiente tipo: IF(si), THEN(entonces) familiarizados con operadores lógicos del tipo AND(y) como OR(o). Según (Ying, 2000) son proposiciones que permiten expresar el conocimiento que se dispone sobre la relación entre antecedentes y consecuentes.

Existen una serie de técnicas sobre el correcto uso de reglas difusas, entre las de mayor aplicación son las reglas difusas propuestas por Mamdani y reglas difusas de Takagi-Sugeno.

Reglas Mamdani.

Las reglas que propone Mamdani Teóricamente se suelen expresar similar a la ecuación 5:

$$si\ x1\ es\ A\ y\ x2\ es\ B\ y\ x3\ es\ C\ entonces\ u1\ es\ D \quad (5)$$

Según (Ying, 2000) define que x_1 , x_2 y x_3 son las variables o conjuntos de entrada (temperatura ambiente, humedad del suelo); A, B y C son los subconjuntos referentes a los mismos conjuntos (Frio, Abridado, Seco, Húmedo); u_1 es la decisión del controlador (encendido de un ventilador, tiempo de apertura de válvula solenoides) que por sentido

común esta expresado en termino lingüístico (no toman valores numéricos); D como E son las conjuntos de salida del controlador que generalmente son evaluados mediante singleton por la facilidad computacional; todos los conjuntos de entrada y salida se enlazan. La primera parte de la sentencia “si x_1 es A y x_2 es B y x_3 es C” es el antecedente y “entonces u_1 es D” es el consecuente.

La técnica de Mamdani sugiere aplica cuando existe un menor número reducido de parámetros.

Ventajas:

- Es más acertado.
- Extensa aceptación.
- Muy recomendado a la incorporación de conocimiento y experiencia.

Reglas difusas de Takagi-Sugeno

Las reglas que define este investigador se expresa en la ecuación 6.

$$\text{si } x_1 \text{ es } uR \text{ y } x_n \text{ es } uR \text{ entonces } y = fR(x_1 \dots \dots x_n) \quad (6)$$

Las reglas del antecedente son del mismo tipo que las de Mandani; es una función nítida de las entradas, cuya conclusión de la regla es un modelo local de la relación entrada-salida en la sección definida por la regla premisa(antecedente) y la región intermedia de salida que resulta de interpolar entre las regiones individuales.

La Figura 11 muestra un análisis del empleo de reglas difusas con la técnica propuestas por Mandani.

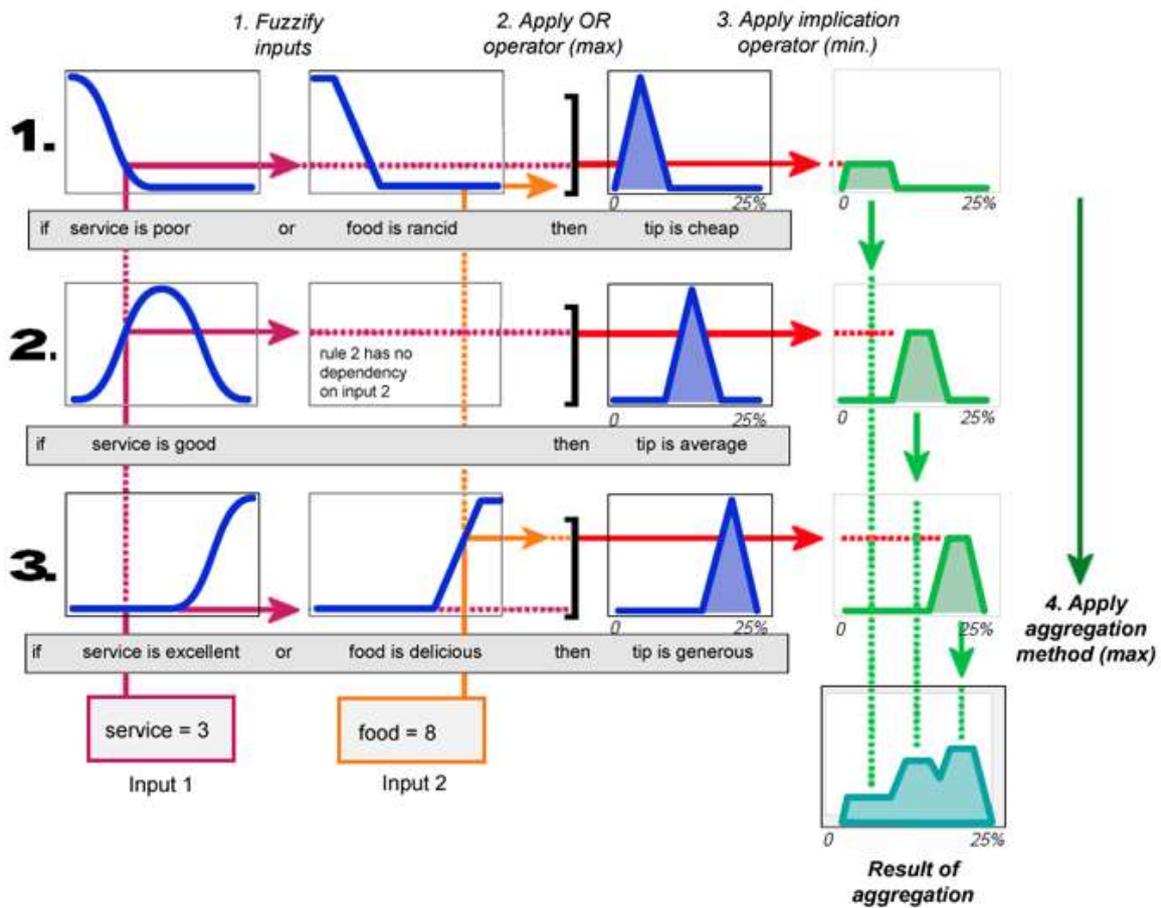


Figura 11. Método de Mamdani.
Fuente: (Alonso, 2008).

2.3.4.8. Inferencia difusa

Es el mecanismo requerido en solucionar la salida de las variables ocasionadas por el consecuente, donde el resultado es expresado en lenguaje difuso; por cada regla aparece un conjunto difuso de salida que al combinarse con las demás salidas forman la respuesta del controlador difuso. Determina la veracidad que concluye cada regla dada ciertas condiciones en el conjunto de entrada.

La inferencia difusa se calcula mediante dos métodos matemáticos conocidos, y son: Inferencia con el máximo y mínimo, Inferencia máximo-producto.

2.3.4.9. Agregado.

Posteriormente del proceso de inferencia difusa es obligatorio agrupar todos los conjuntos difusos de salida que provienen de la evaluación de las reglas difusas, a este modo de agrupación se lo conoce como agregado. Según (George J. Klir and Bo Yuan, 1995) define que la agregación es una unión lógica para conservar la equivalencia entre lógicas clásicas como difusas que se traduce por una suma algebraica obteniendo así el conjunto difuso de salida asociado a la variable de salida.

2.3.4.10. Defusificación.

Según (Delgado, 2012) defusificación establece una relación entre puntos de entrada no borrosos al sistema con sus correspondientes subconjuntos borrosos; los conjuntos procedentes del exterior serán en general valores borrosos y habrá que defusificarlas previamente.

Con las reglas difusas se obtiene un resultado que se manifiesta en términos difusos, por lo tanto, se debe convertir en un valor que pueda ser interpretado y comprendido. La defusificación es un proceso matemático donde se transforma los conjuntos difusos en un número real que concretamente es la respuesta esperada del controlador difuso.

El defusificador se calcula con varios métodos:

- Por centro de gravedad
- Por centro de área
- El método de la media de máximo
- El método del máximo más chico
- El método del máximo más grande
- Bisector de Área

En el presente proyecto de investigación el método que se utiliza con base a la recomendación de la literatura difusa es por el Centro de Área.

Finalmente, para comprender cada una de los procesos que conforma un control basado en lógica difusa se plantea el ejemplo típico expresado en la mayoría del contexto difuso que se describen la siguiente sección.

2.3.4.11. Ejemplo práctico

Este es un caso que ayuda a comprender con simplicidad el proceso que implica el uso de la técnica de lógica difusa en los conceptos anteriormente descritos. Se pretende resolver el problema con situación de incertidumbre; posteriormente el resultado se compara con el que se obtiene de la herramienta de Matlab.

Tema: Problema típico de la propina (scikit-fuzzy development team, 2014)

El problema de la propina es el ejemplo comúnmente más utilizado para demostrar la potencia que tiene el uso de lógica difusa. El objetivo es determinar la cantidad de propina que un restaurante debe recibir de sus clientes, para eso se considera los siguientes parámetros;

Entradas(antecedentes):

Servicio

- Universo de discurso, ¿Qué tan bueno es el servicio del mesero/a, en la escala del 1-10?
- Subconjuntos difusos, pobre, aceptable, bueno.

Calidad de la Comida

- Universo de discurso, ¿Qué tan sabroso fue la comida en en la escala del 1-10?
- Subconjuntos difusos, bajo, medio, alto

Salidas(consecuentes)

Propina

- Universo de discurso, ¿Cuánto sería el porcentaje de propina en la escala del 0-25%?
- conjuntos difusos, bajo, medio, alto.

Reglas difusas

Si el **SERVICIO** es **bueno** O la **CALIDAD** de comida es **bueno**, entonces la **PROPINA** es **alta**.

Si el **SERVICIO** es **promedio**, entonces la **PROPINA** es **media**.

Si el **SERVICIO** es **pobre** y la **CALIDAD** de comida es **pobre**, entonces la **PROPINA** será **baja**.

Para determinar la salida del controlador se procede al cálculo con ayuda de la herramienta que contiene Matlab que se vincula con la lógica difusa mediante logicToolbox. En el **ANEXO 2** se describe paso a paso la configuración en Matlab acerca de logictoolbox). La Figura 12 muestra el comportamiento del control difuso de este problema.

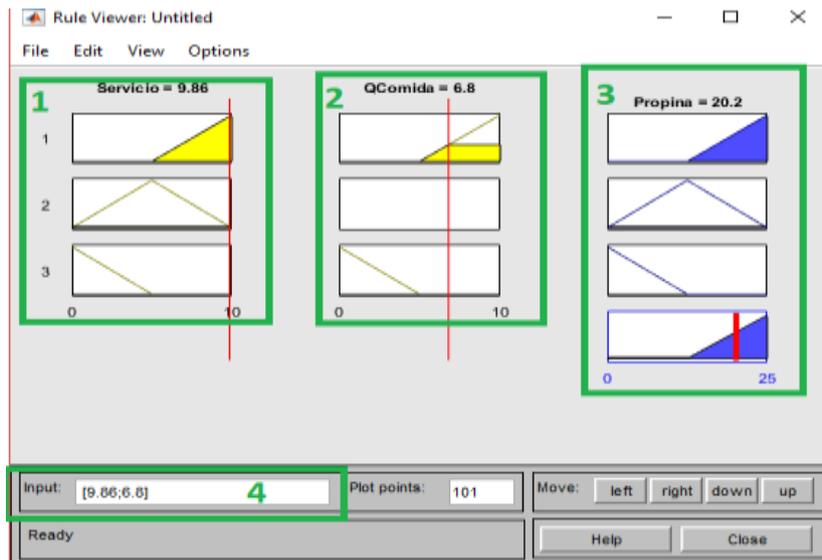


Figura 12. Resultado del problema en Matlab.
Fuente: Elaborada por el Autor.

En la Figura 12 se identifica algunas secciones que se describen a continuación:

Sección 1 y 2.- Conjuntos de entrada (servicio, comida).

Sección 3.- conjunto de salida (propina).

Sección 4.- parámetros de configuración.

La interpretación del resultado manifiesta el siguiente análisis: con un servicio igual a 9.86 y con una calidad de comida de 6.8, la propina debe ser de un 20.2%. En términos del lenguaje difuso se tiene lo siguiente: si 9.86 es el valor del servicio, significa que es una cantidad casi aproximado a excelente o este es muy bueno y si el valor de calidad de comida supera el valor a regular en 6.4, significa que es muy regular, por lo tanto, en términos difusos se expresaría cuando el servicio es casi bueno y la calidad de comida es muy regular la propina será casi alta, ya que esta próxima a su valor más alto.

La resolución de este problema servirá como una base en el modelo que se propone en este proyecto de investigación.

2.4. Norma IEEE 29148.

Es un conjunto de pasos que sirven como modelo en el análisis de los requerimientos del software y del hardware en función del ciclo de vida del desarrollo del sistema. Permite ser empleada como una propuesta de mejora en diferentes áreas de esta investigación, tales como: funcionalidades, limitaciones, tratamiento de procesos, guías, software, actividades y tareas. (Javier Antúnez, 2013)

2.4.1. Pasos de la norma IEEE 29148

La unificación de procesos y elementos que envuelven la ingeniería de un sistema de prototipado es con el empleo del estándar internacional IEEE 29148, cuya información manifiesta los pasos para la determinación de los requerimientos de software y hardware que repercuten en el diseño de este prototipo. Los pasos comprendidos en el estándar IEEE 29148 son los siguientes: definición de los requisitos de las partes interesadas, análisis de requerimientos, actividades de ingeniería en otros procesos técnicos y la gestión de requisitos. Un paso está definido como un proceso que a su vez se compone de varios subprocesos, estos en algunos casos son evaluados con el empleo herramientas, cuya intención es identificar las necesidades a combatir con el uso del prototipo. La Tabla 3 muestra los procesos, subprocesos y herramientas especificadas por el estándar IEEE 29148.

Tabla 3
Pasos que especifica la norma IEEE29148

Paso	Proceso	Subproceso	Herramientas
1	Definición de los requisitos de las partes interesadas	Identificar los actores individuales o grupo Obtener requisitos identificados por los actores	Observación directa e indirecta Entrevistas Cuestionarios Talleres estructurados con lluvias de ideas

2	análisis de requerimientos		
	2.1. Definir los requisitos del sistema	Definir la frontera funcional del prototipo	Definición de adentro y hacia afuera
		Definir cada función que se requiera	Comparación por pares y ranking
		Definir restricciones necesarias	Escala por niveles
		Definir técnicas y criterios de calidad que permitan la evaluación del ciclo de vida del prototipo	
		Especificar los requisitos y funciones del prototipo	
	2.2. Analizar y Mantener los requisitos del sistema	Analizar la integridad de los requisitos del sistema	
		Feed back de los requisitos con la parte interesada	
		Demostrar la trazabilidad entre los requisitos del prototipo y los requisitos de las partes interesadas	
		Mantener durante el ciclo de vida el conjunto de requisitos del prototipo, junto con los fundamentos asociados, decisiones y suposiciones	
3	actividades de ingeniería en otros procesos técnicos		
	Requisitos de validación y verificación	Plan sobre la base de los requisitos del sistema	Revisión de requisitos
		Ejecución del plan para demostrar el cumplimiento o conformidad de los requisitos de diseño específicos	Prototipado
			Generación de casos de prueba
			Revisiones con stakeholders

4	gestión de requisitos	Gestión del cambio en adoptar medidas para mitigar
	son tareas que registran y mantienen los requisitos	Medición de los requerimientos para la calidad del producto
	Elementos de información	Configuración, información, medición para el plan de gestión y ejecución
		Documentos de requerimientos del stakeholder (StRS)
		Documentos de requerimientos del sistema (SyRS)
		Documentos de especificaciones de requerimientos (SRS)

Fuente: (Castro, Rodriguez, 2015)

2.5. Modelo en V.

Es un modelo de desarrollo de software que incluye prototipado. La orientación de esta metodología se dirige hacia los procesos que intervienen en el sistema a desarrollar, es decir, cada función que realice el sistema se fragmenta en pequeños módulos individuales para resolver de una manera más sencilla el problema y posteriormente unirlos en una solución. (Villalba, Ramon, 2012). Este modelo consiste en la determinación de varios pasos realizados de forma secuencial que serán descritas en la siguiente sección.

2.5.1. Pasos del modelo en V

Los pasos del modelo V obedecen a un orden secuencial a modo de cascada que para mejor interpretación está separado por secciones, tales como: parte izquierda que representa la descomposición de las necesidades, y la generación de las especificaciones del prototipo,

parte derecha que representa la unificación de cada componente del prototipo y su verificación. Además, está constituida por cuatro niveles y cada nivel forma etapas, cuya función principal es proporcionar la solución requerida por la etapa vecina. La Figura 13 muestra la estructura en secciones y etapas que establece el Modelo en V, con los pasos secuenciales que se describen en la Tabla 4.

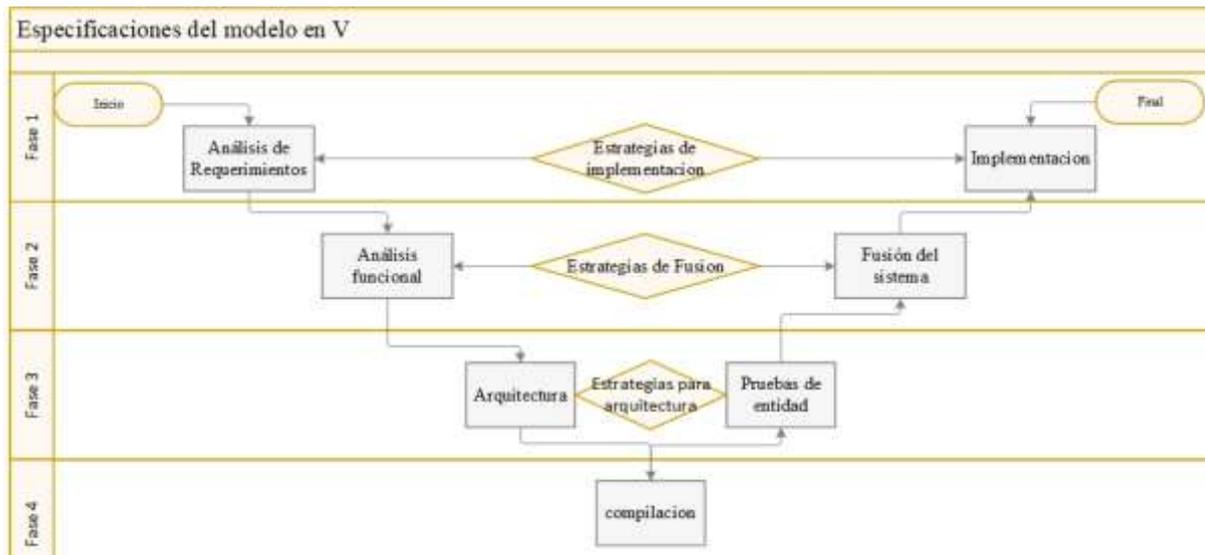


Figura 13. Estructura del modelo en V
Fuente: Elaborada por el Autor.

Tabla 4
Pasos del modelo en V

Paso	Descripción
1, Fase 1	Definir el inicio del prototipo y el final del mismo, estableciendo el análisis de requerimientos para lograr una correcta implementación del prototipo.
2, Fase 2	Definir las demandas del prototipo que incluyen aspectos como: las actividades y el rol que desarrollará pensando en las funciones ofrecidas al usuario; concluido la edificación del prototipo se procede a realizar las pruebas de validación basado en los requerimientos iniciales.
3, Fase 3	Definir la selección de todos los componentes que conformaran la arquitectura del prototipo en software y hardware previo a las pruebas de funcionamiento, recalcando el objetivo de validar de forma individual los respectivos factores.
4, Fase 4	las fases antecesoras se unen y en coordinación con el contenido de diseño se procede a la compilación por cada segmento del prototipo

Fuente: Elaborada por el Autor

2.6. Sistemas de riego

Es una serie de procedimientos organizados que son destinados en suministrar agua en zonas que presentan la característica de cultivar; se compone por varios elementos, tales como: tuberías, mangueras, llaves hidráulicas, electroválvula solenoides, donde todos los recursos varían por las condiciones presentes en el medio a cultivar.

Las diferentes técnicas de riego están divididas en: superficial, por aspersión y goteo, las cuales se conceptualizan en la siguiente sección.

2.6.1. Superficial

Es conocido también como método por gravedad, se lo hace de forma tradicional en canteras y surcos de pequeños tamaños a ciertos niveles de precisión, por ejemplo: el riego por sumersión por canteros para arroz, por infiltración de agua en surcos y riego por escorrentía libre.

2.6.2. Aspersión

Son sistemas fijos en disposición de cuadrícula o inmóviles que están comprendidas por un cañón sobre un carro tirado por un enrollador o cable que lanza el agua a una determinada distancia(6metros).

2.6.3. Micro-riego(Goteo)

Está formado por el flujo de agua al recorrer superficies conformadas por mangueras, tubos perforados y que ampliamente son utilizados en producción de alimentos, tales como: hortalizas, verduras y frutas. Esta técnica está compuesta por algunos elementos, mismos que se describen en la siguiente sección.

2.6.3.1. Elementos de un riego por goteo.

Según (Liotta, 2015) los elementos de un sistema de riego por goteo son los siguientes: fuente de abastecimiento de agua, cabezal principal de riego, tuberías de conducción principal, cabezales de campo, tuberías terciarias y laterales de riego con emisores.

En resumen, en la Figura 14 se muestra una visualización de las distintas técnicas de riego anteriormente descritas.



Figura 14. Sistemas de riego para cultivos hortalizas
Fuente: Elaborada por el autor

Durante el diseño de un sistema de riego se consideran algunos parámetros, mismos que son expresados en la Tabla 5.

Tabla 5
Factores que involucra un Sistema de Riego.

FACTORES	SUPERFICIAL	ASPERSIÓN	GOTEO
Presión de Agua	Bajo	Medio	Alto
Suministro de agua	Bajo	Regular	Continuo
Disponibilidad de agua	Irregular	Media	Limitada
Fuerza de agua	Abundante	Sin solidos	Elevada
Calidad de infiltración del suelo	No limitante	Media a alta	Cualquiera

Capacidad de almacenamiento del suelo	Baja a Media	Media a Baja	No es limitante
Topografía	Alta	Relieve Suave	Irregular
Sensibilidad uniforme	Plana Uniforme	Moderada	Alta
Valor de producción	Baja	Medio	Alto
Coste de mano de obra	Baja	Medio	Alto
Coste de Energía	Bajo	Bajo	Moderado
Disponibilidad de capital	Alto	Medio a Alto	Alta
Exigencia Tecnológica	limitada	Media a Alta	Elevada

Fuente: (Luis.S.Pereira, Jose.A, Juan.V, Maria.R.Piqornel, Jose.Tarjuelo, 2010).

Los sistemas de riego actuales continúan desarrollándose con un progreso muy notable, donde el gran aporte proviene de la integración de los denominados sistemas expertos, los cuales pueden ser implementados en el campo Agrícola. Los sistemas expertos son considerados como el complemento de varios procesos enmarcados en una técnica de riego, tales como: automatización, control y optimización de recursos; son pruebas que demuestran un mejor desempeño en distintos ambientes (agricultura, medicina, robótica) que con el apoyo de dos indicadores es posible evidenciarlo; en la práctica los indicadores se conocen como la uniformidad de distribución y la eficiencia de aplicación.(Jonathan *et al.*, 2014)

Para (Hernández Navarro, 2017) los factores influyentes en un sistema de riego son los siguientes: Radiación Solar, Nubosidad, Humedad del ambiente, Superficie foliar del cultivo, Viento, Precipitación, Permeabilidad del suelo y Calidad del agua.

2.7. Variables de un sistema de riego.

En el diseño del control de riego con lógica difusa se establecerán las variables más influyentes, donde algunas de ellas son bastantes conocidas, tales como: temperatura ambiente, humedad del ambiente, humedad del suelo y precipitación.

2.7.1. Temperatura Ambiente.

Sin duda es uno de los parámetros principales que contribuye al cambio en el desarrollo de un alimento, ya que cada uno de ellos cuenta con un valor adecuado para su crecimiento, donde el criterio de un experto decide agruparlos según sea su valor de Temperatura Ambiente de trabajo.

2.7.2. Humedad del ambiente

Es el factor de vapor de agua atmosférico debido a las diferentes propiedades que contiene la misma, su valor se mide en porcentaje de presencia en el ambiente (%). La Humedad del ambiente y Temperatura Ambiente de alimentos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6
Familia de hortalizas

Grupo	Alimentos	Temperatura Óptima (Centígrados)	Humedad del ambiente %	Adicional
A	Berro de agua, brócoli, col, espinaca, nabo rábano, repollo	Entre 15 y 18	95-100	No soportan heladas suaves > 25 °C
B	Acelga, alcachofa, apio, papa, coliflor, lechuga	Entre 15 y 18	85-90	Susceptible a heladas
C	Ajo, cebolla, cebollín japonés	Entre 13 y 24	65-70	Toleran Heladas
D	Calabaza, cayote, pimiento, pepino, tomate riñón	Entre 18 y 27	90-95	No toleran Heladas
E	Ají, berenjena camote	Mayores a 21	90-95	No Toleran heladas

Fuente: (FAO, 2016)

2.7.3. Precipitación

Conocer si existe la posibilidad de llover o no es un asunto primordial en el diseño de un sistema de riego, al considerarse como un factor natural muy provechoso pero que puede ocasionar inconvenientes (encharcamientos, calidad del alimento), ya que el sistema de riego siempre trabaja en función del abastecimiento de agua que en su mayoría proviene de represas. Es necesario incluirlo en la operación del sistema de riego, la prudente sería que el riego que se intenta controlar funcione en ausencia de lloviznas; con la integración de este factor se pretende aumentar la eficiencia del control, de esta manera podrá influir tanto en el crecimiento del cultivo como en la prevención de enfermedades, plagas y otros beneficios que contribuyen en la producción de cultivos.

2.8. Hortalizas

La agricultura es una actividad que hasta la actualidad es el principal sustento económico en algunos países como: China con el 50,98% que lidera el ranking de países mayores productores de hortalizas a nivel mundial, seguido de la India con 9,55%, EEUU en el tercer lugar con 2,76%, y solo el 5% están destinadas al comercio internacional (F.Plaza, 2018). En Ecuador informes agrónomos señalan un total de 12'385.973 hectáreas de superficie el 11,62% que se encuentran dedicados a cultivos permanentes y se ha mantenido como la primera fuente de ingresos económicos con una contribución del 8% al PIB del país, superando a la industria petrolera, acuífera y artesanal. La región sierra es la mayor productora de hortalizas a nivel del país, con una superficie destinada a cultivo de hortalizas de 160.277 Hectáreas (MAGAP, 2017).

El principal factor que contribuye en la producción de hortalizas es la técnica de riego que se aplica (Vera *et al.*, 2015). En este entorno se dispone de una serie de procedimientos

con el objetivo de proveer la cantidad de agua suficiente al cultivo, entre los más aplicados son manuales y automáticos. Estas técnicas trabajan con magnitudes meteorológicas, tales como: Temperatura Ambiente, humedad del ambiente, humedad del suelo, Precipitación y otros que para propósitos de esta investigación no son consideradas; en conjunto se convierten en la base para la toma de decisión requerida en la frecuencia de riego, sin embargo, dificultan al momento de suministrar la cantidad de agua (Hernández Navarro, 2017). El mal empleo del agua en el riego podría generar una baja calidad en la producción de cultivos, a su vez de un posible desperdicio eminente de la misma, atrayendo consigo pérdidas económicas para el agricultor. Existe una preocupación por la dependencia de agua que se requiere en el riego, se estima que toda el agua dulce disponible en el mundo el 80% (FAO, 2016) está sujeta al riego, que a causa del aumento demográfico en estos últimos años y con proyección en el futuro se ve la necesidad de extender el campo agrícola, el cual aloja un resultado alarmante acerca de la cantidad de agua destinado para estos cultivos.

En la granja La Pradera constantemente desarrollan temas de investigación con la finalidad de promover estrategias para cuidar el medio ambiente, donde el agua es considerado el de mayor repercusión. Este moderno sistema que se intenta desarrollar se lo aplicara en ciertas hortalizas que cumplan las mismas condiciones meteorológicas

2.9. Sensores y propiedades

Son agentes de electrónica de pequeño tamaño que consumen menor potencia, son muy utilizados en sistemas inteligentes, domótica, medicina, los cuales son fabricados para obtener el valor de cambio que produce una variable (fenómeno físico). Su función requiere de pulsos eléctricos digitales como analógicos para adquirir la medida de magnitudes físicas (Temperatura Ambiente, Velocidad de un motor).

Tipo de señal

Señal Digital. - este responde con la forma de una palabra digital.

Señal Analógica. – produce una variación de tensión permanente en su rango de trabajo.

Magnitud

Una magnitud es considerada como una propiedad que puede ser medida, por ejemplo: Temperatura, velocidad, cantidad de CO₂, Humedad, luminosidad, velocidad, caudal, fuerza, proximidad, de contacto y sensores binarios. Entre algunas propiedades importantes de los sensores se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7
Descripción de cada sensor y su magnitud

Magnitud	Transductor	Características
Temperatura	Termopar	Analógico
	Resistencia	Analógico
	Termistor CTN	Analógico
	Termistor CTP	Todo-Nada
	Bimetal (Balcells J, 2007)es	Todo-Nada
Fuerza	Sensor de Muñeca	Analógicos
	Piezoeléctricos	Analógico
Posición	LVDT	Analógico
	Resolver	Analógico
	Potenciómetro	Analógico
	Síncrono	Analógico
	Inductos	Analógico
	Encoders	Digital
Velocidad	Encoders	Digital
	Detector inductivo-óptico	Digital
	Tacogenerador	Analógico
Aceleración	Capacitivo	Analógico
	Piezoeléctrico	Analógico
	Mecánicos	Analógico
	Térmicos	Analógico
	Acelerómetro	Digital

Proximidad	Inductivos Efecto hall Capacitivos Ultrasónicos Ópticos	Analógicos Analógicos Analógicos Digitales Digitales
CO2	Gaseoso	Digital

Fuente: (Balcells J, 2007)

2.9.1. Campo de medida

Es el límite de tolerancia de la medida del sensor entre un valor máximo y mínimo.

2.9.2. Resolución

Es la cantidad de datos expresados en bits que puede medir.

2.9.3. Sensibilidad

Es la mínima dimensión en la señal de entrada demandada para generar una determinada dimensión en la señal de salida, dada una rotunda relación señal a ruido, u otro criterio especificado.

2.9.4. Linealidad

Es la permanente sensibilidad.

2.9.5. Saturación

Es causada por la poca presencia de sensibilidad, sobrepasa el nivel de su rango.

2.9.6. Histéresis

Es la disparidad para valores de salida con su correspondiente entrada, definido por la vía encaminada por el sensor

2.9.7. Exactitud.

Es la capacidad aproximada que tiene el sensor de obtener los datos en la práctica frente a los valore teóricos, es expresado en valor absoluto y relativo.

2.9.8. Precisión

Es la habilidad de mantener los mismos resultados en las mismas condiciones del ambiente en cualquier instante.

2.9.9. Velocidad de respuesta

Es la capacidad de mantener constante el tiempo de respuesta de la salida en varias entradas.

2.9.10. Estabilidad.

Es la capacidad de mantener los mismos valores cuando las condiciones de medición varíen.

2.10. Actuadores.

Un actuador es un componente inherente que permite la actividad de un dispositivo terminal en algún ambiente (hogar, empresarial, industrial) y es muy requerido en el sector eléctrico al constituir la operación final en un proceso de automatización, tales como: el encendido de un foco, el control de un portón eléctrico, la apertura de una electroválvula solenoide necesaria en esta investigación, estos son casos cuyo funcionamiento se establecen por medio de un actuador.

2.10.1. Electroválvula solenoides.

Para (CEME, 2017) una electroválvula solenoide es la combinación de dos partes fundamentales, un solenoide (bobina) y un cuerpo de válvula solenoide con 2 o 3 vías que sirve para abrir o cerrar el paso de un fluido a través de una señal eléctrica.

Hay una variedad y clases de electroválvula solenoides para distintas aplicaciones que pueden considerarse por varias formas, tales como: por su número de vías (dos, tres), la

posición (regulable o fija), reposo (NA normalmente abierto, NC normalmente cerrada) y el factor primordial a controlar que es sobre el flujo de agua.

Sensor de flujo de agua. – consiste en una válvula solenoide de plástico con un rotor de agua, un sensor de efecto hall, donde al fluir el agua la velocidad del rotor varia respecto al flujo del líquido es así como se emite el pulso eléctrico por medio del sensor de efecto hall. La Figura 15 muestra el aspecto visual de este dispositivo.



Figura 15. Electroválvula solenoide de Efecto Hall.
Fuente: (LIBRE, 2016)

2.11. Sistemas embebidos

Se definen como equipos electrónicos o computacionales empotrados que tratan información digital con propósitos de realizar una función específica o varias en tiempo real. Son muy utilizados porque operan con un bajo consumo de energía conformados de un reducido tamaño; son de costos accesibles que resultan ser de alta confiabilidad y disponibilidad.

2.11.1. Componentes de un sistema embebido

Generalmente un sistema embebido está constituido de ciertas partes, donde algunas de ellas se muestran en la Figura 16.

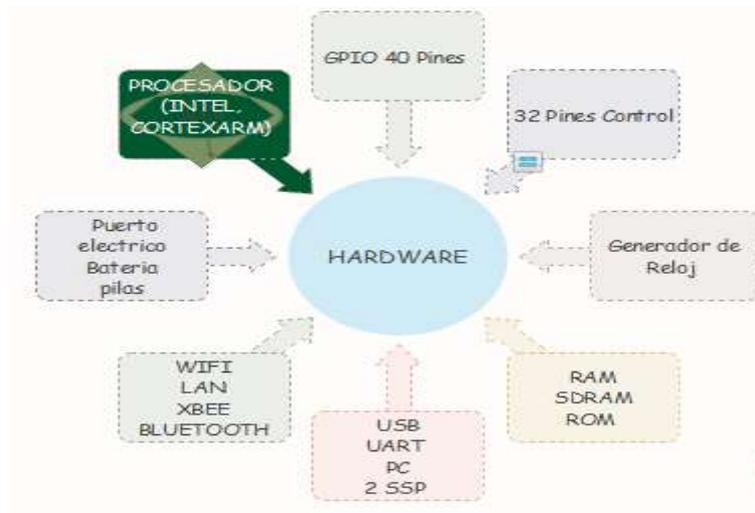


Figura 16. Componentes de un sistema embebido.
Fuente: Elaborada por el Autor

El componente principal de un sistema embebido es el microcontrolador, cuya función es procesar la información generada por sus diferentes pines conectados con sensores que miden variables de entorno; su velocidad varía de acuerdo al fabricante. Con el aporte de estos componentes es posible crear sistemas de control con procesos eficientes, donde está todo empotrado en una sola tarjeta PCB que se caracterizan por emplear funciones idénticas a las de un miniordenador.

Para seleccionar el sistema embebido depende de los siguientes requerimientos:

- Velocidad de procesamiento (8, 16, 32 bits).
- Licencias (código abierto, licenciadas).
- Prestaciones (cantidad de periféricos que ofrece).
- Consumo de energía
- Recursos económicos
- Confiabilidad

2.11.2. Características de un sistema embebido

Las características más comunes de un sistema embebido se muestran en la Figura 17.

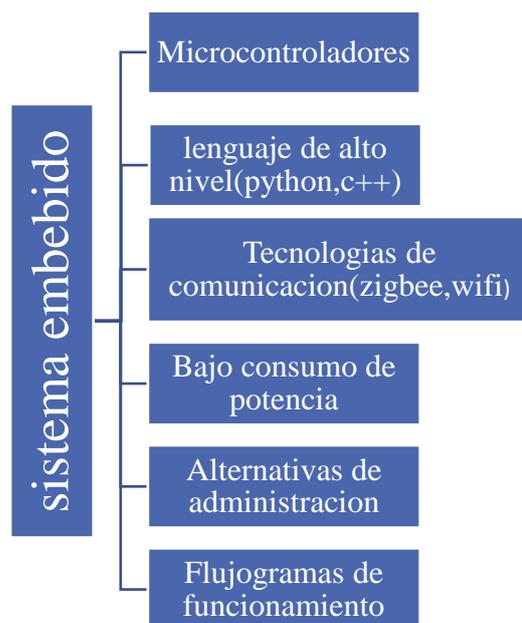


Figura 17. Características de un sistema embebido.
Fuente: Elaborada por el Autor

En el entorno de construcción de prototipos existen varias plataformas de sistemas embebidos, cuyas especificaciones técnicas varían según sea su necesidad de aplicación, tal y como se muestra en la Tabla 8 considerando aquellas plataformas con mayor demanda.

Tabla 8
Hardware para aplicaciones IoT

Características	Arduino Uno	Beagle Bone Black	Raspberry PI
Procesador	ATMega328	AM33x	ARM(BCM2837) 64 bit
Velocidad	16 MHz	1GHz	1,2Ghz
RAM	2 Kb	512 Mb	1Gb
USB	No tiene	1	4
AUDIO	No tiene	HDMI Analógico	HDMI
VIDEO	No tiene	HDMI mini	HDMI
ETHERNET	No tiene	10/100	10/100
Entradas/Salidas	14 Digitales y 6 Analógicas	69 Digitales, LCD, GMPC, MMC1, MMC2, 7 entradas Analógicas, 4 timers, Puertos seriales	40 Pines GPIO, puerto para cámara, Micros-Sd

Sistema Operativo	No tiene	Android, Linux, Windows	Linux, windows
Programa	IDE Arduino	python	python
Precio	26 \$	64,68 \$	67 \$

Fuente: Elaborada por el Autor

2.12. Herramientas de software y hardware libres.

2.12.1. Arduino.

(Artero, 2013) define como una placa de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable asociada a una serie de pines que permiten conectar de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores, actuadores y otros elementos.

La vía de configuración de la placa Arduino es por medio del software IDE de Arduino, este se encuentra en código abierto y disponible en diferentes plataformas; sus aplicaciones más habituales son: encender y apagar iluminarias, controlar una casa por medio de alarmas, control ambiental a través de sus pines analógicos y digitales. Proporciona compatibilidad de interactuar con otras herramientas de hardware por medio de sus escudos o shields, tales como: GSM, WIFI, RF, Bluetooth, servomotores, y principalmente protocolo zigbee esencial para el desarrollo de esta investigación.

2.12.2. Raspberry

Es un mini-ordenador de muy bajo costo como una herramienta útil en el aprendizaje de programación a estudiantes de escuelas y colegios alrededor del mundo en proyectos de electrónica recreativa e innovación tecnológica. Está compuesto por un procesador ARM, una arquitectura nueva que las tradicionales de sobremesa (Intel/AMD).

Ventajas

- Realmente es un sistema de muy bajo costo, donde uno puede crear proyectos sin preocuparse de “romper” un computador costoso.
- El sistema base es (Raspbian) una distribución de Linux estable con el usuario que contiene una variedad de aplicaciones orientadas a la educación y al desarrollo de software
- Python es el lenguaje principal usado en la Raspberry, es simple de familiarizarse y bastante poderoso

2.12.3. Python

Es un interpretador de instrucciones que permite utilizar el lenguaje de forma interactiva. Los lenguajes interpretados, a diferencia de los lenguajes compilados permiten experimentar interactuando con una ventana y también mediante programas que pueden desarrollarse para probarse a medida que son construidos.

Características del lenguaje Python

- Es lenguaje interpretado
- No obliga a adoptar un nuevo lenguaje de programación.
- Se puede instalar en varias plataformas (Windows. Linux).
- Es de código abierto con licencia GPL.
- Es legible, fácil de comprender para otro programador
- Uso el encolumnamiento de instrucciones.
- Es un lenguaje seguro y comprensible

CAPITULO 3

El presente capítulo abarca temas sobre la metodología que implica el diseño y edificación del sistema de riego inteligente, la integración de lógica difusa al control, la distribución zonal del entorno de estudio, la evaluación de los requerimientos indispensables que ayudan a determinar los componentes de Hardware y Software para la adquisición de un prototipo funcional.

3.1. Metodología

Para el desarrollo del sistema inteligente es necesario de la ayuda de técnicas de diseño de sistema que incluyen prototipado, por esta razón se hace indispensable la utilización del modelo en V que guía la integración del sistema permitiendo la retroalimentación durante este proceso. Además, como complemento se utiliza el estándar IEEE29148 para la selección de los componentes hardware y software.

3.2. Modelo en V.

Al diseñar e instaurar prototipos es importante el uso de guías que ayuden a llevar una adecuada gestión y dirección de este, donde cada parte del sistema debe contar con caminos claves que cumplan sus funciones acordes a su construcción y que formalice un correcto desempeño; el software debe complementarse con el hardware y la solución para el problema debe sujetarse a los requerimientos de los involucrados. La información correspondiente al sistema debe estar ligada a los propósitos de campo de aplicabilidad, por lo tanto, como sugerencia hoy en la ingeniería se cuenta con una herramienta para el desarrollo de proyectos con fines de investigación cuya técnica se trata del **modelo en “V”**.

El modelo en V es la ruta que permite al diseñador de aplicaciones suministrar y estipular la ejecución de un proyecto que comprende una serie de fases; expresa el procedimiento en cascada del desarrollo y sustento de cualquier sistema.

Este modelo indica dos etapas trascendentales: la etapa que especifica el inicio del proyecto y la segunda etapa que complementa con la conclusión del mismo. Está formado por cuatro fases que se desarrollan en sentido decreciente y creciente con el objetivo de realizar los test de verificación como la validación por fase. La Figura 12 descrita en el capítulo 2 muestra cada una de las fases y pasos para organizar el desarrollo del prototipo con el modelo en V, cuyas tareas son descritas en las siguientes fases.

La fase 1 es el punto de partida del proyecto y el final de este, va en orientación hacia los beneficiados, donde se establecen los requerimientos y las necesidades que se pretenden solucionar.

La fase 2 está dirigida a las demandas del proyecto que incluyen aspectos como: las actividades y el rol que desenvolverá pensando en las funciones ofrecidas al usuario; concluido la edificación del proyecto se procede a realizar las pruebas de validación con base en los requerimientos iniciales.

La fase 3 engloba la selección de todos los componentes que conformaran la arquitectura del proyecto en software como hardware previo a las pruebas de funcionamiento, recalcando el objetivo de validar de forma individual los respectivos factores.

En la fase 4 las fases antecesoras se unen y en coordinación con el contenido de diseño se endereza la compilación para cada segmento del sistema.

3.3. Análisis

EL punto de inicio se demarca en explorar aquellos factores importantes involucrados en el tema planteado, razón que obliga a establecer una relación con las personas que son el objeto de estudio ingenieros agrícolas, estudiantes encargados del riego y trabajadores pertenecientes a la Granja La Pradera de la Universidad Técnica del Norte con el fin de generar información precisa para un desarrollo eficiente de esta investigación.

3.3.1. Situación actual.

El presente trabajo de investigación se realiza en la zona destinada para cultivos de hortalizas, el cual está situado en el cantón Antonio Ante, en la parroquia San José de Chaltura perteneciente a las instalaciones de la Granja la Pradera.

La idea es identificar claramente cuáles son los aspectos de mayor prioridad en este entorno que permitan lograr el éxito en esta investigación, para eso es necesario recolectar información autentica respaldada con el empleo de instrumentos y técnicas de recolección de información que se describen a continuación:

3.3.1.1. Técnicas de recolección de información.

La primera técnica considerada para la recolección de información es mediante la observación directa que permite examinar las actividades relacionadas al sector agrícola en la granja, orientadas específicamente al cultivo de hortalizas, la metodología de riego empleada y las debilidades que el entorno presenta.

La segunda técnica está basada en un cuestionario que involucra al técnico agricultor con el fin de complementar y fortalecer conocimientos específicos sobre sistemas de riego en hortalizas, con la peculiaridad de incrementar el desempeño del control difuso que se caracteriza por la experiencia del técnico agricultor.

3.3.1.2. Técnica Observación directa.

Se efectuaron dos observaciones para reconocer los factores internos y externos que originen el mayor impacto sobre el desarrollo de esta investigación. La información obtenida de las observaciones se detalla en el **ANEXO 3**.

Primera Observación

En esta observación se logró identificar que las actividades con mayor frecuencia que se desarrollan son de carácter agrícola que incluye la crianza de animales avícolas y ganaderos, el cuidado de especies de plantas e insectos en peligros de extinción, la producción de pastos y cereales, y el área para propósitos de esta investigación correspondiente al cultivo de hortalizas. La Figura 18 indica el espacio que corresponde a la zona de hortalizas en campo abierto y en invernadero, además de dos parcelas, la una parcela de lechuga y espinaca, y la segunda parcela de col y culantro.

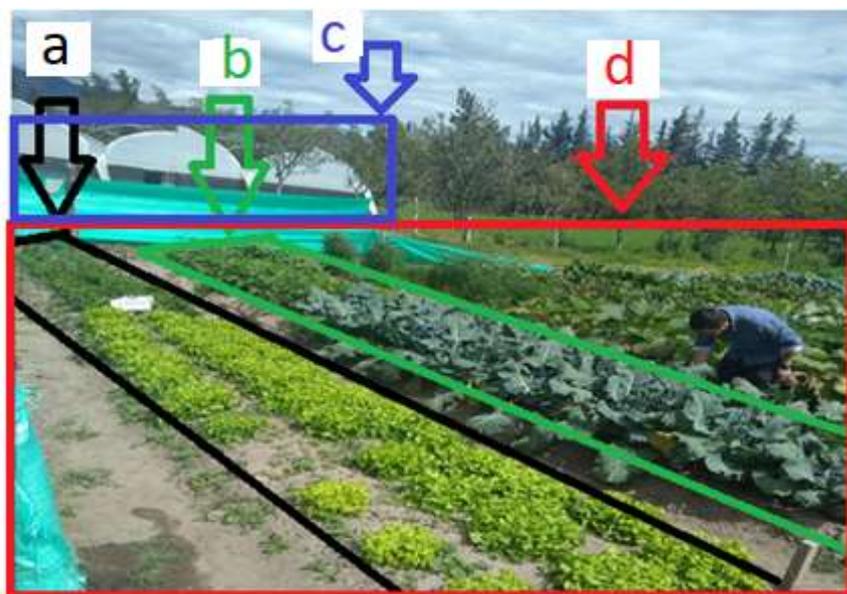


Figura 18: a) parcela de lechuga y espinaca; b) Parcela de col y culantro; c) invernadero para hortalizas, d) hortalizas a campo abierto.

En la zona para hortalizas se evidencio que las dos técnicas de riego operan manualmente ya que no están construidas con ningún nivel de control automático. El riego por aspersión es actualmente implementado en las hortalizas a campo abierto con parcelas de dimensiones de 11 metros de largo por 1,2 metros de ancho. La Figura 19 muestra la ubicación de la técnica de riego por aspersión en la zona de hortalizas con las dimensiones de la parcela.

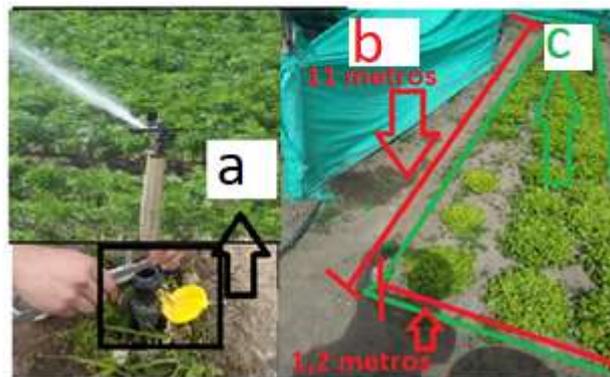


Figura 19: a) técnica de riego por aspersión; b) las dimensiones de la parcela; c) parcela de lechuga y apio

Segunda observación

La segunda observación está basada a determinar los problemas ocasionados por la técnica de riego manual por aspersión. Los problemas más notables pertenecían a un crecimiento desigual por las hortalizas, la mortalidad de ciertas hortalizas a causa de una distribución de riego no uniforme sobre la parcela, la deformación de la parcela. La Figura 20 muestra los problemas ocasionados por la técnica de riego actual por aspersión.

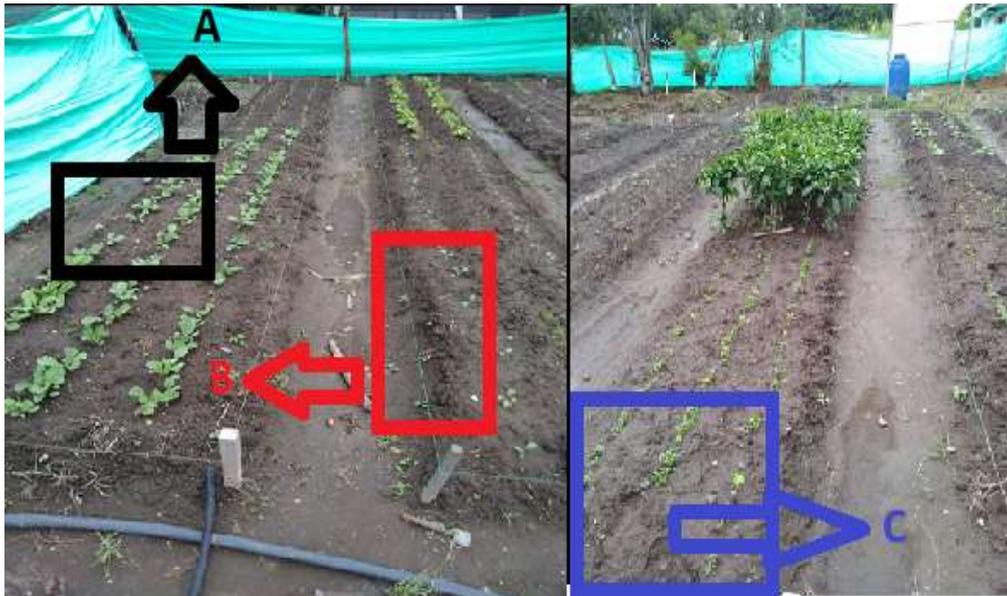


Figura 20: a) crecimiento desigual; b) deformación de la parcela; c) la mortalidad de hortalizas
Fuente: Elaborada por el Autor

3.3.1.3. Cuestionario realizado al técnico agricultor.

Un sistema basado en conocimiento (SBC) establece que su eficiencia es reflejada en la experiencia del técnico agricultor, donde los inventores como desarrolladores de la teoría de *lógica difusa* afirman que esta persona con el pasar del tiempo aprende, a su vez desenvuelve la capacidad de responder adecuadamente a ciertas acciones, por lo tanto, el cuestionario al docente experto en materia de hortalizas es la principal técnica que se aplicó para la propuesta presentada.

Se determinaron las preguntas para reforzar las observaciones descritas anteriormente y respaldar el desarrollo del prototipo, enfatizando en preguntas cerradas, claras, concisas, cortas y fácil de comprender para el encuestado. Las preguntas definidas en el cuestionario se muestran en la Tabla 9, y el formato se detalla en el **ANEXO 4**.

Tabla 9
Cuestionario de preguntas

Numero de Pregunta	Pregunta ¿?	Opciones
1	¿Qué factores consideraría Ud. más importantes en una producción de hortalizas?	<input type="radio"/> Situación Geográfica <input type="radio"/> El tiempo <input type="radio"/> El sistema de riego <input type="radio"/> Recursos Económicos
2	¿Qué problemas se presentan con mayor frecuencia en el desarrollo de hortalizas?	<input type="radio"/> Control de plagas <input type="radio"/> Mortalidad de hortalizas <input type="radio"/> Encharcamientos de agua <input type="radio"/> Control de malezas <input type="radio"/> Desbordamiento de parcelas.
3	¿Cuáles de los siguientes factores meteorológicos influyen en un cultivo de hortalizas?	<input type="radio"/> Temperatura Ambiente <input type="radio"/> Velocidad de Viento. <input type="radio"/> Precipitación <input type="radio"/> humedad del suelo <input type="radio"/> Humedad del ambiente <input type="radio"/> Disponibilidad de acceso al agua. <input type="radio"/> Nivel de contaminación del agua.
4	¿Según su experiencia, ¿Qué porcentaje considera Ud que tiene el riego en la producción de un alimento?	<input type="radio"/> 50 % <input type="radio"/> 75% <input type="radio"/> 80% <input type="radio"/> 100%
5	En el proceso de riego de un cultivo, ¿Cuál es el desperdicio de agua que existe?	<input type="radio"/> Mucho <input type="radio"/> Considerable <input type="radio"/> Poco Considerable <input type="radio"/> Ninguno
6	¿Qué alternativas considera Ud que pueden mejorar el desperdicio de agua en un cultivo?	<input type="radio"/> Aumentar las fuentes de acceso de agua. <input type="radio"/> Disminuir la cantidad de agua para riego. <input type="radio"/> Mejorar las técnicas de las buenas prácticas agropecuarias.

		<input type="radio"/> Mejorar la técnica de riego.
7	¿Actualmente la granja cuenta con un sistema de riego?	<input type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
8	Si en la anterior pregunta contesto Si, ¿Cree que si se ha disminuido la cantidad de desperdicio de agua?	<input type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
9	Si la pregunta es si ¿Que método de riego actualmente en la Granja se está utilizando?	<input type="radio"/> Manual <input type="radio"/> Sistema de riego Automático. <input type="radio"/> Sistema de riego inteligente
10	¿Conoce la cantidad de agua que consume el sistema de riego actual?	<input type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
11	¿Está de acuerdo en que se debe aplicar un control al momento de disponer el agua para los cultivos?	<input type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
12	Cree que, ¿aplicando una técnica inteligente al sistema de riego, se podría mejorar la eficiencia en el consumo de agua?	<input type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
13	¿Cuál es el grado de importancia de la presencia de un operador de riego en la ejecución del riego?	<input type="radio"/> Alto <input type="radio"/> Medio <input type="radio"/> No es importante
14	¿Qué tan confiable considera Ud que un sistema de riego puede trabajar sin la presencia del operador?	<input type="radio"/> Muy Confiable <input type="radio"/> Poco Confiable <input type="radio"/> No es confiable.
15	Para Ud. ¿Qué tanto podría aportar un sistema de riego inteligente en la etapa de producción de un cultivo de hortalizas?	<input type="radio"/> Mucho <input type="radio"/> Regular <input type="radio"/> Casi Nada. <input type="radio"/> Nada.

Fuente: Elaborada por el Autor

3.3.1.4. Análisis de las técnicas de recolección de información.

Existen una serie de actividades de carácter agrícola que los estudiantes desenvuelven en diferentes zonas de la Granja, tales como: el cuidado de ciertas especies de insectos y

plantas en peligros de extinción, la crianza de animales avícolas y ganaderas, la producción de alimentos y un área específicamente destinada al cultivo de hortalizas.

La zona de cultivos de hortalizas está distribuida en camas, las cuales en entorno agrícola son conocidas como parcelas, sus dimensiones son homogéneas con una medida por cama de 11 metros de largo por 1,2 metro de ancho, además de recalcar la técnica de riego que actualmente es aplicada. Un docente proporciono información más detallada acerca del área de cultivos de hortalizas la cual se indica en el **ANEXO 5**.

Uno de los aspectos de mayor repercusión es identificar la técnica de riego que está en operación donde se pudo evidenciar en dos entornos; un riego por aspersión para hortalizas de entorno abierto y riego por goteo para cultivos en entorno de invernadero conocidos como métodos convencionales. Se procedió a supervisar problemas ocasionados por el uso de estas técnicas, donde precisamente se descubrieron varios de ellos, por ejemplo: mortalidad en ciertas hortalizas causados por riegos en horarios inadecuados, deformidad de la parcela, crecimiento desigual de hortalizas por una distribución no uniforme del agua sobre la parcela, tal y como se mostró en la Figura 20. Estos problemas fueron corroborados con el cuestionario realizada al técnico agricultor, sin embargo, las técnicas de riego por aspersión y goteo son flexibles al momento de aplicarlas, ya que no requieren de un alto nivel de conocimiento para su instalación y manejo, del mismo modo reducen su inversión económica convirtiéndolas en las técnicas más aprovechadas en sistemas de riego.

La Tabla 10 muestra las conclusiones adquiridos durante el proceso de recolección de información con las técnicas de observación directa y el cuestionario requeridos para esta investigación.

Tabla 10*Conclusiones de las técnicas de recolección de información.*

Técnica de recolección	Conclusiones
Primera observación	Existen cultivo de hortalizas en campo abierto y cerrado
Segunda Observación	Las características de los cultivos de hortalizas Las técnicas de riego por aspersión y goteo que son aplicadas actualmente Problemas ocasionados por las técnicas de riego actuales, tales como: mortalidad de ciertas hortalizas, la deformidad de las parcelas, un crecimiento desigual en hortalizas.
Cuestionario	Fortaleció la información adquirida por las observaciones. Necesidad de desarrollar una técnica de riego inteligente automática e independiente.

Fuente: Elaborado por el Autor

Finalmente, la Tabla 11 muestra ventajas y desventajas de las técnicas de riego manual (aspersión y goteo) que actualmente es utilizada en riego de hortalizas en la granja.

Tabla 11*Ventajas y Desventajas de las técnicas de riego por aspersión y goteo.*

Ventajas	Desventajas
Fácil de instalar	Desperdicio de agua por riegos en horarios innecesarios.
Fácil de operar	Distribución de agua desnivelada en la parcela
Menor costo de inversión	Desbordamiento de la parcela a causa del exceso de riego
Ciclo de vida amplio	Riego innecesario que afecta a la calidad de la hortaliza.

Fuente: Elaborada por el Autor

Posteriormente se indica los diferentes proyectos en temas relacionados a métodos de riego que ya se han desarrollado en la Granja La Pradera para evidenciar su estado de actividad. La Tabla 12 muestra el estado vigente de los diferentes estudios de sistemas de riego y su campo de aplicación

Tabla 12*Estado de actividad de proyectos vinculados a métodos de riego en La Pradera*

Tema	Aplicación	Estado
Ipv6 en una red WSN para el monitoreo remoto de Cultivos	Cultivos de ciclo corto	Inactivo
Diseño de una red de sensores WSN con tecnología 802.15.4, basado en el concepto agricultura de precisión para el control y monitoreo de cultivos de hortalizas	Hortalizas, tomate riñón	Inactivo
Técnica tradicional por Aspersión	Hortalizas a campo abierto	Activo
Técnica tradicional por goteo	Hortalizas en invernadero	Activo

Fuente: Elaborada por el Autor

Finalmente, las zonas consideradas para las realizar las pruebas del funcionamiento del sistema de riego con lógica difusa se establecieron en dos parcelas, que estarán ubicadas en el interior de un invernadero.

3.3.2. Propósitos del entorno actual.

La idea es desarrollar un moderno sistema de control basado en una técnica denominada lógica difusa, este será capaz de actuar, trabajar y ejecutar las decisiones similares al de un operador en dicho entorno; liberar de tareas complicadas al operador y que tenga la capacidad de cumplir con los propósitos de contribuir a la producción de cultivos. Esta nueva propuesta es la base determinante que se pretende aplicar en varios aspectos, tales como: inteligencia, confiabilidad, independiente y más eficiente.

El rol que le caracteriza a este sistema consiste en determinar las bases de información, procedimientos, y despliegues de trabajos en el área de riego que ya se han desarrollado en la Granja la Pradera con el fin de reducir tiempos; identificar que necesidades se deben enfatizar para fortalecer y apresurar el ritmo de esta investigación.

La clave es permitir que el sistema de riego que existe hasta el día de hoy en los cultivos de hortalizas se efectuó sin la presencia del ser humano, conseguir un control automático de este, donde el sistema debe ser capaz de actuar y emular las acciones que hace un operador.

Es indispensable identificar todos los factores que intervienen en un sistema de riego, de esto depende la funcionalidad y la eficiencia del controlador que se intentara desarrollar. La experiencia del experto en el área de riego es un punto primordial en el diseño del controlador, según el experto el riego obedece a ciertos factores, tales como: época del año, calidad de producto, condiciones terrenales, calidad de agua (Delgado, 2012), y especialmente a las condiciones meteorológicas (Temperatura Ambiente, humedad del ambiente, cantidad de dióxido de carbono, cantidad de rayos lumínicos).

Para el diseño del controlador se decide optar por las condiciones meteorológicas, ya que según el técnico agricultor son las más influyentes en un riego.

Finalmente, un sistema con control difuso está conformado por entradas y salidas, para los propósitos de esta investigación se determinó que las entradas corresponden a las condiciones meteorológicas presentes en el área de las hortalizas, y la salida se estableció en el tiempo de riego que requieren estas hortalizas. En ocasiones resulta difícil calcular el tiempo de riego por el lenguaje que maneja el técnico agricultor, por ejemplo: mucho tiempo, tiempo normal, poco tiempo, no tan poco tiempo, casi no es necesario y no es necesario; estas expresiones son entornos difusos o borrosos, por lo tanto, esto permite determinar que el tiempo de riego constituye la salida del control difuso.

3.3.2.1. Definición de acrónimos y abreviaturas.

La mejor alternativa para reducir la complejidad en la escritura de algunos términos es con el uso de una lista de acrónimos y abreviaciones especificados en el estándar IEEE 29148, y fueron descritos en la Tabla 3 del capítulo 2. La Tabla 13 muestra los acrónimos y abreviaciones requeridas para este prototipo.

Tabla 13
Definición de Acrónimos y Abreviaturas

Abreviatura	Descripción
StRS	Documento de especificación de requerimientos del Stakeholder
SyRS	Documento de especificación de requerimientos del sistema
SRSH	Documento de especificación de requerimientos de Software y Hardware

3.3.3. Descripción general del sistema.

El sistema de riego que se desarrolla plantea dos métodos de riego, un método donde el operador determina la frecuencia de riego que requiere el cultivo en base a ciertas condiciones meteorológicas presentes en el área de estudio, tales como: temperatura del suelo, humedad del ambiente, temperatura del ambiente y Precipitación; los valores de los parámetros meteorológicos pertenecientes al sistema son datos recogidos por los sensores correspondientes. El segundo método de riego es aplicando la metodología con lógica difusa, la cual propone el tiempo estimado de riego que las hortalizas necesitan al considerar las mismas condiciones meteorológicas del método anterior. Finalmente, el método difuso trabajará de forma autónoma, donde el riego funcione sin la intervención del operador en el área de cultivos; se actualizará cada cierto tiempo que se establecerá con el técnico agricultor durante el periodo de pruebas, esto implica responder al tiempo de riego en eventualidades reales.

El paso y bloqueo de flujo de agua estará controlada por una válvula solenoide-solenoide, estos equipos permiten aplicarles un determinado control por medio de señales eléctricas.

El sistema será desplegado mediante una red de sensores WSN que encajen en las distancias requeridas entre la zona de estudio y la zona donde se ubique el operador. La red comprende el sector donde se encuentran los sensores que contienen los datos de las variables meteorológicas, además, se instalará una válvula solenoide que sera controlada por la estación responsable de gestionar el sistema de riego.

3.3.3.1. Análisis funcional.

La propuesta que se intenta integrar tiene como propósito mejorar la metodología de riego que se ha venido practicando en la Granja la Pradera, que permita encontrar la vía de un adecuado uso del agua al instante de regar y fortalezca un riego más simple. En este proceso de investigación el sistema de riego basado en lógica difusa supervisará las siguientes variables: Temperatura Ambiente, humedad del ambiente, Precipitación y Temperatura del Suelo; proporcionar la medida indispensable para determinar el consumo de agua con este nuevo mecanismo, por lo tanto, se plantea la variable que este sistema deberá contener, cuyo dato será esencial para el cálculo del consumo de agua generado por el uso del control difuso.

3.3.4. Características del sistema.

El sistema de riego a emplear en esta investigación está destinado para la Granja la Pradera en el área de hortalizas, donde se evaluará los cultivos después de un periodo de tiempo de haber aplicado esta metodología de riego. El riego en varias hortalizas no comparte las mismas necesidades, ya que se desarrollan en diferentes condiciones, tales como: tiempo, climas, suelos, por lo tanto, se deberá escoger hortalizas que posean las mismas condiciones

de riego. La técnica de riego que se empleará será por goteo, considerando la sugerencia expuesta por el técnico agricultor, según su criterio es la de mayor frecuencia de uso en este entorno, es menos costoso y es más propicia para hortalizas.

Es importante que la comunicación entre la zona de hortalizas y la zona en donde se procesa la gestión de riego sea confiable, ya que posiblemente se genere pérdidas de transmisión entre estas dos zonas, lo que reduce la operatividad de esta nueva técnica de riego.

Se opta por simplificar el área de trabajo en dos zonas con la intención de optimizar la gestión de este proyecto, por lo tanto, la división en zonas queda de la siguiente forma: la zona 1 pertenece al área de cultivos de hortalizas y la zona 2 comprende el área de gestión del riego, en la sección pertinente se detallara el proceso que involucra la segmentación zonal. La Figura 21 muestra una visualización general del sistema de riego inteligente con lógica difusa distribuido en zonas.

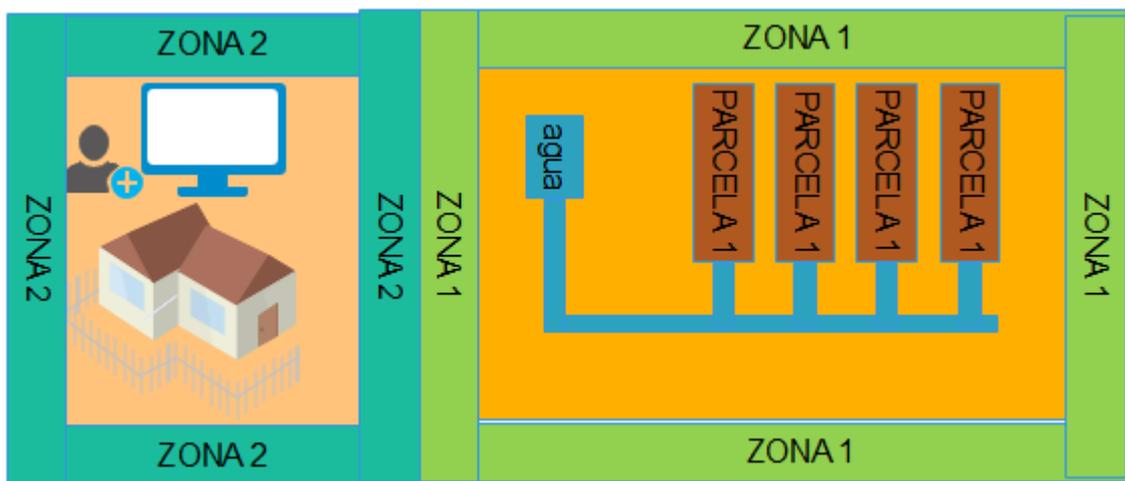


Figura 21. Distribución Zonal.
Fuente: Elaborado por el Autor

3.4. Requerimientos.

El objetivo fundamental de esta investigación se basa en construir un sistema de riego basado en lógica difusa, el cual es capaz de actuar frente a eventualidades que se manejan tradicionalmente al momento de regar las hortalizas, ya que estas suelen variar constantemente en el tiempo. Los términos en el entorno de trabajo suelen contener valores intermedios, donde la necesidad de agua de los cultivos puede tornarse de la siguiente forma: mucho riego, poco riego, regular y no se acierta con claridad cuanto tiempo es considerado regar; los valores meteorológicos cambian constantemente; puntualiza sobre el uso del agua hacia el riego de forma eficiente. La intención principal de este nuevo método consiste en obtener el tiempo necesario que requiere para la aplicación del riego sobre los cultivos. El primer recurso es el personal que está vinculado en esta investigación. Los involucrados en este proyecto se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14
Stakeholders involucrados en la investigación

Lista de stakeholders
1.- Granja La Pradera
2.- Universidad Técnica del Norte
3.- Docentes expertos en el área agrícola (sistemas de riego, hortalizas)
4.- Ing Fabian Cuzme
5.- Sr Leandro Salazar
6.- FICA

Fuente: Elaborada por el Autor

Los Stakeholders que integran la lista de la Tabla 14 desempeña un papel diferente de grado de responsabilidad y compromiso; buscar la forma más correcta de generar un buen trabajo sobre esta investigación.

3.4.1. Requerimientos indirectos destinados para el sistema.

Previo a la preparación del sistema que contribuye al desenvolvimiento de la investigación en curso, es obligatorio tomar ciertas consideraciones en relación a los requerimientos necesarios por parte de algunos stakeholders, como también los requerimientos para el funcionamiento correcto del sistema. La Tabla 15 muestra especificaciones que son indispensables para identificar los requisitos operacionales del sistema, como también medidas necesarias del personal que auxilian e integran parte de esta investigación.

Tabla 15
Requerimientos indirectos destinados para el desarrollo sistema

StSR					
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES.					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
StRS 1	Conectividad a Internet		X		
StRS 2	Reducido consumo de energía		X		
StRS 3	Adquirir datos	X			
StRS 4	Visualización de datos	X	X		
StRS 5	Control de forma manual	X			
StRS 6	Automatización del sistema		X		
StRS 7	Control del volumen de agua		X		SSH6
StRS 8	Trabajar con cantidades exactas		X		
StRS 9	Almacenamiento en base de datos		X		
StRS 10	Operación permanente	X			
REQUERIMIENTOS DE USUARIO					
StRS 11	Compatible en otras hortalizas		X		

StRS 12	Conocimientos en sistemas de riego	X
---------	------------------------------------	---

Fuente: Elaborada por el Autor

Tanto en la fase de edificación de sistema como en la fase de evaluación se debe considerar cada uno de los requerimientos trazados y respetar las prioridades de cada uno de estos.

3.4.2. Requerimientos iniciales del sistema.

Se han definido los más relevantes y se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16
Requerimientos iniciales del sistema.

SySR					
REQUERIMIENTOS FUNCIONALES.					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
SySR 1	Monitorear Temperatura Ambiente	X			
SySR 2	Monitorear nivel de humedad ambiente	X			
SySR 3	Monitorear temperatura del suelo	X			
SySR 4	Monitorear Precipitación	X			
SySR 5	Monitorear el volumen de agua	X			StRS 7
SySR 6	Monitorear el tiempo que se ejecuta el riego	X			
REQUERIMIENTOS DE USO					
SySR 7	Simplicidad de manejo del sistema.	X			
SySR 8	Manual de uso y configuración	X			
REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE					

SySR 9	Menor error en datos adquirido por los sensores.	X	
SySR 10	Menor retardos de tiempo en la transmisión de datos entre zonas		X
SySR 11	Menor consumo de energía	X	
SySR 12	Soporte de varios lenguajes de programación	X	
SySR 13	Capacidad de control de dos o más operadores al mismo tiempo.		X
SySR 14	Fácil adaptación de la válvula solenoide a las dimensiones presentes en la zona de riego	X	
SySR 15	Soporte de procesamiento suficiente en plataformas de programación.		X
SySR 16	Explotar los pines del microcontrolador	X	
REQUERIMIENTOS DE INTERFACES			
SySR 17	Compatibilidad con la capa Aplicación de TCP/IP	X	
SySR 18	Comunicación a través de puerto serial	X	
REQUERIMIENTOS FISICOS			
SySR 19	Cobertura en toda el área de estudio	X	
SySR 20	tamaño reducido		X
SySR 21	Protecciones frente a fenómenos naturales	X	

Fuente: Elaborada por el Autor

3.4.3. Requerimientos funcionales del sistema

Para la funcionalidad del sistema electrónico propuesto, es esencial detallar todo el hardware que será necesario, como también el software apropiado para que el sistema pueda operar exitosamente. La Tabla 17 indica las cualidades necesarias que debe poseer tanto el hardware como el software que se utilizara.

Tabla 17
Requerimientos funcionales de hardware y software a utilizarse

REQUERIMIENTOS FUNCIONALES					
REQUERIMIENTOS LÓGICOS					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
SRSH 1	Entradas y Salidas digitales	X			
SRSH 2	Capacidad de comunicación entre uno y más dispositivos.	X			
SRSH 3	Conversión Análoga Digital	X			
SRSH 4	Interrupciones por medio de pulsos	X			
SRSH 5	Compatibilidad con módulos de comunicación (XBee, WiFi)	X			
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO					
SRSH 6	Software y Hardware asequibles	X			
REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE					
SRSH 7	Compatibilidad con librerías de sensores con el microcontrolador	X			
SRSH 8	Compatibilidad con módulos para la creación de aplicaciones funcionales	X			
SRSH 9	De licencia gratuita y código abierto	X			
SRSH 10	compatibilidad con plataformas programación (PYTHON, Arduino)	X			
SRSH 11	Control de motores eléctricos	X			

SRSH 12	Flexibilidad de conexión de sensores y obtener su lectura	X
SRSH 13	evite sobrecargar al procesador	X
REQUERIMIENTOS DE HARDWARE		
SRSH 14	Cobertura inalámbrica mayor a 50 metros	X
SRSH 15	Bajo consumo de energía	X
SRSH 16	Estabilidad de comunicación inalámbrica.	X
SRSH 17	Menor carga computacional	X
SRSH 18	Control manual del flujo de agua	X
REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS		
SRSH 19	Conexión hacia la red eléctrica	X

Fuente: Elaborada por el Autor

Considerar las siguientes especificaciones, tales como: características lógicas y los detalles técnicos del componente que conformaran la estructura del sistema, las cuales contribuyen al rendimiento y operación del mismo.

3.4.3.1. Prohibiciones.

- La válvula solenoide-solenoide debe ajustarse a la fuente de agua destinada para el riego de las hortalizas.
- La fuente de energía debe proveer la cantidad de corriente eléctrica a cada elemento de su respectiva estación.
- Los sensores que se utilizarán deberán ser calibrados anticipadamente para disminuir su valor de error y operar con datos más exactos, ya que la acción del sistema es en tiempo real.

- No se debe aplicar esta metodología a otro tipo de cultivos (pastos, frutales) sin antes hacer su respectivo análisis.
- En la transmisión de los datos, considerar el tiempo que estos tardan en llegar entre las estaciones, donde se simplifique la pérdida de datos entre ellos y que sature al ordenador principal.
- Se deben utilizar las librerías apropiadas que tengan capacidad de compatibilidad entre software y el hardware del sistema.
- El sistema está diseñado para uso exclusivo de un operador con experiencia, en el caso de la granja un docente.

3.4.3.2. Peligros.

- Congestión del equipo principal al momento de recibir la información.
- Dificultad al momento de actualizar los datos enviados por cada sensor al mostrarlos en pantalla.
- La funcionalidad del sistema es directamente relaciona a la permanente conectividad entre cada componente de comunicación, al desconectar cualquier de ellos o se produzca un fallo físico se pierde la conexión de la red, producto de ello la totalidad de operación del sistema de riego inteligente.

3.5. Recursos.

El personal implicado en el desarrollo del sistema de riego basado en lógica difusa proporciona constantemente sugerencias que permitan reducir inconsistencias, es importante reflexionar las propuestas, sus análisis que encajen con precisión a los objetivos planteados en este trabajo. La Tabla 18 detalla el personal humano que forma parte de esta investigación.

Tabla 18
Recursos Humanos.

Función	Nombre
TUTOR	Ing. Fabián Cuzme
DESARROLLADOR	Sr. Leandro Salazar
DOCENTE	Ing. Experto en Horticultura

Fuente: Elaborada por el Autor

3.5.1. Recursos económicos.

Los componentes electrónicos indispensables en la construcción del sistema de riego inteligente se muestran en la Tabla 19 con el enfoque siguiente: el número de unidades necesarias, una estimación de su costo y el total.

Tabla 19
Requerimientos Económicos

Componente	Valor Por Unidad (Dólares)	#	Costo Final
Módulo XBee	50	2	100
Sheld módulo XBee	10	2	20
Arduino Leonardo	17	1	17
Raspberry Pi	125	1	125
3+cargador+carcasa			
Módulo de comunicación Serial	5	1	5
Válvula solenoide- solenoide	40	1	40
Módulo relé de dos canales	10	1	10
Sensor de Temperatura Ambiental	5	1	5
Sensor de Precipitación	5	1	5
Sensor humedad del ambiente del suelo	10	1	10
Sensor de caudal de agua	10	1	10
Trasformador 110 a 24 VAC	10	1	10
Regulador de voltaje	1.5	1	1.50
Puente rectificador	0.5	1	0.5

Capacitores	0.50	3	1.50
Conectores	0.25	4	1
Leds	0.15	4	0.60
Porta Fusibles	1	1	1
Borneras	0,5	3	1.50
Micro sd 8GBt	8	1	8
Baquelita 50cm*70cm	5	1	5
Cables para protoboard (paquete)	5	2	10
Cautín	1	25	25
Espadines	0,5	4	2
Estaño rollo	5	1	5
Total			419,60

Fuente: Elaborada por el Autor

En la fase de selección sobre la tecnología de software indispensables en el sistema inteligente se puntualiza varios criterios, entre los más identificados son los siguientes: emplear nuevas plataformas que permitan extraer el mayor provecho de cada elemento instalado en el sistema, la propuesta de una adecuada compatibilidad con varias plataformas a través de librerías, una explotación de nuevas herramientas de estudios aplicados a temas de investigación en ingeniería y que se caractericen por el simple acceso a ellas bajo ningún costo. EL software requerido se muestra en la Tabla 20 con el rol que cumplen en este proyecto.

Tabla 20

Función que cumple cada software del sistema.

Software	Costo	Función
Raspbian (versión estable)	Gratuito	Sistema principal que corre en el ordenador Raspberry Pi y acceder a sus funcionalidades.
Python	Gratuito	Lenguaje básico de programación de alto nivel, altamente más eficiente que otros lenguajes, necesario en el procesamiento de los datos y del control en la zona donde se localiza el operador.
Pyqt(módulo Qt-python)	Gratuito	Un potente framework que permite desarrollar

		interfaces graficas muy interactivas (botones, reloj, widgets, calendario, niveles de medición) y es un modulo disponible para Python.
Matplotlib	Gratuito	Software basado en Matlab disponible para servidores Linux, permite realizar operaciones de ingeniería, matrices, vectores.
“Scikit Fuzzy” (modulo Python)	Gratuito	Herramienta que permita resolver eventos relacionados a lógica difusa.
IDE ARDUINO	Gratuito	Software necesario para controlar el microcontrolador Arduino, e interactuar con componentes (motores, sensores)
KiCAD	Gratuito	Una novedosa herramienta que ofrece la creación de esquemático de la placa electrónica, es más potente que otras, permite tener una noción en la forma de conexión de cada componente eléctrico.

Fuente: Elaborada por el Autor

3.6. Selección del hardware y software para el modelamiento del sistema.

Concluido el análisis de recursos hardware y software requeridos para el sistema de riego con lógica difusa se procede a determinar que componente de estos satisfacen a las expuestas por el sistema.

3.6.1. Selección del hardware en la zona 1.

La información designada para el sistema necesita transformarse a ciertos términos fácil de interpretar, donde cualquier componente sea capaz de descifrarla; es información que se pretende gestionar con el valor obtenido por su correspondiente sensor. El control de una válvula solenoide es mediante señales PWM, las cuales son requeridas en otras actividades, por ejemplo: el encendido de luces que verifiquen el estado del sistema, por tal razón un microcontrolador es el equipo idóneo que proporciona estas funciones.

Esta etapa es la determinación de los componentes generales del sistema; para reducir la complejidad en el diseño y con el fin de optimizar la distribución de los recursos de

Hardware como lógicos correspondientes, la mejor alternativa es establecer una división zonal sobre el área donde se desarrolla la investigación, la cual ya fue descrita en la sección 3.3.4.(Características del sistema).

3.6.1.1. Zona 1.

El primer componente para seleccionar es el microcontrolador. La Tabla 21 muestra una serie de microcontroladores disponibles con los lineamientos que cumplen cada uno en relación a las características formuladas por el sistema de lógica difusa.

Tabla 21
Selección hardware y software en la zona 1

HARDWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH 5	SRSH 9	SRSH 10	SRSH 11	TOTAL
Arduino Leonardo	1	1	1	1	4
Raspberry pi3	0	1	1	0	2
Beagle Bone Board	0	0	0	1	1
1 Cumple					
0 No cumple					

De la Tabla 21 se deduce el siguiente resultado: el componente que cumple con el mayor número de requerimientos que necesita el sistema es un microcontrolador Arduino, por lo tanto, este elemento será seleccionado para formar parte del sistema.

Las dos zonas transmiten y reciben datos entre ellas constantemente, a esto se suma su localidad geográfica, por lo tanto, es indispensable un medio inalámbrico para que se comuniquen. La Tabla 22 presenta algunas de las tecnologías inalámbricas que compaginan con las características que requiere el sistema.

Tabla 22
Elección de la tecnología inalámbrica.

HARDWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH 3	SRSH 14	SRSH 15	SRSH 16	TOTAL
BLUETOOTH 3.0	0	0	1	0	2
RFID	0	0	1	0	2
WIFI 802.11	0	1	1	1	3

XBEE-PROS2B	1	1	1	1	4
1 Cumple					
0 No cumple					

Fuente: Elaborado por el Autor

De la Tabla 22 se deduce el siguiente resultado: el equipo que cumple con el mayor número de requerimientos en la construcción del sistema es una comunicación con tecnología ZIGBEE, su correspondiente elemento es un módulo de la familia XBee-PRO-2b, por lo tanto, mediante esta tecnología se consigue la comunicación inalámbrica entre zona la 1 y 2.

3.6.1.2. Selección de sensores.

El primer sensor en seleccionar es para medir la Temperatura Ambiente, se dispone de varios tipos según su propósito y su costo. La Tabla 23 especifica varios aspectos de cada uno de ellos.

Tabla 23
Requerimientos del sensor de Temperatura

HARDWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH 3	SRSH 15	SRSH 16	SRSH 17	TOTAL
Familia dht	1	1	1	1	4
Sensor LM35	1	0	0	1	2
TC74	1	0	1	1	3
1 Cumple					
0 No cumple					

Fuente: Elaborada por el Autor

De la Tabla 23 se deduce el siguiente resultado: el elemento que cumple con el mayor número de requerimientos es el sensor DHT modelo 11, por lo tanto, se seleccionó este componente como parte del sistema para que mida el valor de temperatura y humedad del ambiente.

La disponibilidad en opciones de elementos que detecten la Precipitación es poca, sin embargo, se localizaron en el mercado varios de ellos los cuales se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24*Elección del Sensor de Precipitación (Presencia lluvia).*

HARDWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH 3	SRSH 7	SRSH 15	SRSH 16	TOTAL
FC-37	1	1	1	1	4
STM32	1	1	0	0	2
Con 555	1	1	0	0	2
1 Cumple					
0 No cumple					

Fuente: Elaborado por el Autor

De la Tabla 24 se deduce el siguiente resultado: el elemento que cumple con el mayor número de requerimientos en la construcción del sistema es el sensor FC-37, por la tanto, se decide la selección de este elemento.

El factor humedad del suelo se puede considerar como el de mayor repercusión, ya que es quien determina de forma directa las condiciones del suelo, sin embargo, los equipos que se encargan de hacer eso son de muy alto costo, por lo que se decidió investigar alternativas menos complejas de adquirir; los requerimientos encontrados en este componente se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25.*Selección del sensor humedad del suelo*

HARDWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH 3	SRSH 7	SRSH 15	SRSH 16	TOTAL
Familia SHT	0	1	1	0	2
M173	0	1	1	0	2
FC-28	1	1	1	1	4
1 Cumple					
0 No cumple					

Fuente: Elaborada por el Autor

De la Tabla 25 se deduce el siguiente resultado: el elemento que cumple con el mayor número de lineamientos en la construcción del sistema es el elemento FC-28, por lo tanto, se decidió la selección de este elemento.

Una de las actividades del sistema de riego basado en lógica difusa es identificar el consumo de agua consumida por los cultivos de hortalizas, por lo tanto, es necesario obtener la medida del caudal de la fuente de agua, esto se logra con un sensor que calcule el flujo de agua, a este parámetro se define técnicamente como caudalímetro; en el mercado existen variedades de ellos dependiendo en las condiciones que se pretende y las dimensiones que se requieren cumplir, alguna de ellas se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26

Elección del sensor de flujo de agua.

HARDWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH 4	SRSH 7	SRSH 15	SRSH 17	TOTAL
FG20B02	0	0	1	1	2
YF-201	1	1	1	1	4
FC34B02	0	0	1	1	2

1 Cumple
0 No cumple

Fuente: Elaborada por el Autor

De la Tabla 26 se deduce el siguiente resultado: el elemento que cumple el mayor número de lineamientos que requiere el sistema es el sensor YF-201, por lo tanto, se decidió hacer la selección de este elemento.

Si se desea aplicar un determinado grado de control a cierto elemento (agua, Temperatura Ambiente, velocidad de un motor), este siempre conlleva hacer el uso de equipos como: motores eléctricos, acondicionadores considerados actuadores. En este caso se pretende el control sobre el agua, esto se logra haciendo el uso de válvula solenoides eléctricas, donde la Tabla 28 muestra las especificaciones de algunas de ellas orientadas al sistema.

3.6.1.3. Selección de la válvula solenoide solenoide.

Algunas de las válvula solenoides que se encuentran disponibles en el mercado se describen en la Tabla 27.

Tabla 27
Elección de la Válvula solenoide Solenoide.

HARDWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH 3	SRSH 7	SRSH 12	SRSH 17	TOTAL
ZE-4F180	0	1	0	0	1
HUNTER	1	1	1	1	4
ROUND-START	0	1	0	0	1

1 Cumple
0 No cumple

De la Tabla 27 se deduce el siguiente resultado: el elemento que cumple con el mayor número de lineamientos acordes al desarrollo del sistema es la válvula solenoide HUNTER, por lo tanto, se seleccionó este equipo.

3.6.2. Elección del hardware de la zona 2.

3.6.2.1. Zona 2

La zona 2 conforma la estación de trabajo, la cual es considerada como la zona de gestión del riego que es responsable de supervisar las distintas eventualidades presentes el sector de los cultivos; está comprendida por los siguientes dos componentes: un módulo XBee inalámbrico (Receptor) que fue seleccionado en la descripción de la zona 1 y el componente principal que acompaña a este módulo es el cerebro o núcleo del sistema, donde estará alojada la aplicación que contiene la interfaz gráfica de gestión del control; con ayuda de un sistema embebido se logra cumplir las características necesarias del componente principal del sistema. La Tabla 28 muestra los diferentes modelos de sistemas embebidos disponibles en el mercado con requisitos esenciales para esta investigación.

Tabla 28
Requerimientos del sistema embebido.

HARDWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH 5	SRSH 8	SRSH 10	SRSH 17	TOTAL
Raspberry PI 3	1	1	1	1	4
Intel Galileo	1	0	1	0	2
BeagleBone	1	1	0	1	3
0 Cumple					
1 No cumple					

Fuente: Elaborada por el Autor

De la Tabla 28 se deduce el siguiente resultado: que el equipo que cumple el mayor número de requerimientos necesarios en el desarrollo del sistema es una Raspberry PI 3, por lo tanto, se decidió la selección de este componente.

3.6.3. Elección del software.

El software a escoger debe ofrecer una relación con los aspectos definidos en la etapa de requerimientos, de esta forma se garantiza un estable desempeño, una flexibilidad entre la parte lógica como física del sistema y como base el potencial que cada software propone.

Al igual que el hardware, la selección se la realiza en dos etapas, un software que cumpla las características para la zona 1 y otro específicamente para la zona 2.

3.6.3.1. Selección del software de la zona 1.

Los parámetros que influyen en la selección del software destinado a esta zona deben cumplir con los requerimientos que se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29
Requerimientos de software destinados en la Zona 1

SOFTWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH 7	SRSH 9	SRSH 11	SRSH 13	TOTAL
IDE ARDUINO	1	1	1	1	4
PYTHON	1	1	0	1	3
JAVA	1	1	0	1	3
1 Cumple					
0 No cumple					

De la Tabla 29 se deduce el siguiente resultado: que el software que cumple el mayor número de lineamientos que se requiere para el desarrollo del sistema es el IDE Arduino, por lo tanto, se decidió la selección de este.

3.6.3.2. Selección del software en la zona 2.

Esta sección la conforma un ordenador principal, el cual está enfocado en ofrecer una capacidad de procesamiento más elevada que en la zona 1 debido a la cantidad de datos que fluyen entorno al objetivo de control, por otro parte, esta sector es quien ejecuta las ordenes que conlleva el sistema, donde el usuario debe interpretar los resultados de los datos en valores comprensibles, además de permitir la conexión de periféricos, por lo tanto, este asume el rol principal de un mini-servidor local del sistema; los requerimientos solamente se pueden solventar por medio de un sistema operativo, el cual estará montado en el sistema empotrado de la raspberry PI -3 con el propósito de tener acceso a todas sus funcionalidades del equipo; el sistema operativo a seleccionar debe cumplir las características que se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30
Requerimientos del sistema operativo del sistema embebido.

SOFTWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH 8	SRSH 9	SRSH 11	SRSH 13	TOTAL
Raspbian	1	1	1	1	4
Windows 10	0	1	0	0	1
Kali	0	1	0	1	2

1 Cumple
0 No cumple

Fuente: Elaborada por el Autor

De la Tabla 30 se deduce el siguiente resultado: que el sistema operativo que cumple el mayor número de lineamientos que se requieren para el desarrollo del sistema es instalar Raspbian en la tarjeta Raspberry Pi 3, por lo tanto, se decidió la selección de este software.

La funcionalidad del sistema será reflejada en la creación de una interfaz gráfica lo suficientemente aceptable, un tanto robusta, con un rápido acoplamiento, con un desempeño al máximo y uso de herramientas que aumentan la potencialidad del mismo hardware. Existen una infinidad de plataformas que permiten diseñar interfaces graficas muy robustas, asi como funcionales. Las plataformas que pueden generar aplicaciones graficas se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31
Selección del Software Para la Interfaz Gráfica

SOFTWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN TOTAL
	SRSH 8	SRSH 9	SRSH 10	SRSH 12	
PyQt	1	1	1	1	4
Tkinker	0	1	0	1	2
EasyGUI	0	1	0	1	2

Cumple
 No cumple

Fuente: Elaborada por el Autor

De la Tabla 31 se deduce el siguiente resultado: que el software que cumple el mayor número de lineamientos que se requiere en el desarrollo del sistema es PyQt, por la tanto, se decidió hacer la selección de este software.

Pyqt es el módulo requerido para la creación de la interfaz gráfica para Python basado en el framework Qt, el cual propone ciento de módulos que permiten generar aplicaciones muy funcionales y muy interactivas, por ejemplo: crear gráficos de sensores indicando su estado de operación; es ampliamente usado por Google, Facebook, por lo tanto, el control del riego será realizado mediante la interfaz gráfica basada en Qt.

3.6.3.3. Software para el diseño de circuito impreso.

No existe una barrera que impida generar un circuito impreso con características similares a una profesional, en estos últimos años han aparecido nuevas herramientas capaces

de presentar al diseñador formas de mejorar su placa. La Tabla 32 se muestra las plataformas donde se puede realizar diseños de placas de circuitos impresos.

Tabla 32
Requerimiento del software del circuito impreso

SOFTWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH 8	SRSH 9	SRSH 10	SRSH 12	TOTAL
EAGLE	0	1	0	1	2
ISIS	0	1	0	0	1
KICAD	1	1	1	1	4

1 Cumple
0 No cumple

Fuente: Elaborada por el Autor

De la Tabla 32 se deduce el siguiente resultado: el software que cumple con el mayor número de lineamientos que se requieren en el desarrollo del sistema es KICAD, por lo tanto, se decidió la selección de este software.

3.7. Hardware destinado para el sistema.

La estructura física(hardware) del sistema está conformado por una red de sensores inalámbrica(WSN) entre la zona 1 referente a la ubicación de las hortalizas y la zona 2 correspondiente a la zona de gestión del riego; la zona 1 está compuesta por los siguientes elementos: fuente de alimentación eléctrica, sensor de humedad y Temperatura Ambiente, sensor de Precipitación, sensor humedad del suelo, sensor de caudal de agua, modulo relé, una válvula solenoide, el microcontrolador Arduino Leonardo y un módulo de comunicación XBEE.

Las selecciones de estos componentes se determinaron en base las referencias en los requerimientos del sistema descritos anteriormente.

3.7.1. Sensor de Temperatura DHT (11/22).

Este sensor es de tipo digital perteneciente a la familia DHT, cuyo valor de la temperatura se lo obtiene con la lectura del pin digital; esta incrustado en el un dispositivo que le permite medir la humedad del ambiente del ambiente, no tiene mayor peso y su tamaño es muy reducido, donde mediante un led se evidencia el estado en el que se encuentra el sensor. La Figura 22 muestra el aspecto visual de este componente y la Tabla 33 sus especificaciones técnicas.



Figura 22. Foto sensor utilizado dht11.
Fuente: (Robotics, 2015)

Tabla 33
Especificaciones técnicas del foto sensor DHT11

Característica	Valor
Voltaje de operación	entre 5 y 3 volts
Resolución	16 bits
Límites de operación de humedad	20-90%
Sensibilidad de humedad	4%
Retardo de censado	1 segundo
Límite de medición de temperatura	0-50 grados Centígrados
Sensibilidad de temperatura	+2 y -2 Centígrados
Corriente	0,3mA
Distancia mínima de conexión por cable	20 metros

Fuente: (Mouser Electronics, 2011)

3.7.2. Sensor de Precipitación FC-37.

Este sensor detecta la presencia como ausencia de lluvia; conformada de una placa que contienen vías metálicas separadas a una determinada distancia que evitan su contacto, al

detectar la presencia de agua comienzan a establecer una conexión entre estas vías, esto genera un valor de conductividad el cual es transformado a dos valores, un valor analógico de 0 a 1024 y un valor alto (HIGH) o bajo (LOW). Cuando el sensor envía el valor analógico aproximado a 0 se refiere a que existe presencia de lluvia; si el valor se aproxima a 1024 ocurre todo lo contrario. En el caso digital detecta un valor alto en presencia de lluvia y un valor bajo la ausencia de la misma. La sensibilidad se la puede ajustar por medio del potenciómetro que se encuentra en la placa empotrada en su circuito. La Figura 23 muestra el aspecto visual de este componente y la Tabla 34 sus especificaciones técnicas.

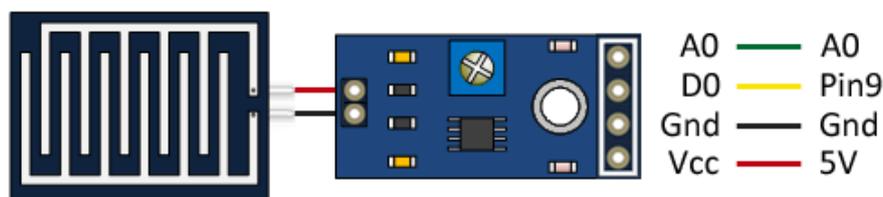


Figura 23. Foto sensor utilizado FC-37
Fuente: (LLAMAS, 2016)

Tabla 34
Especificaciones técnicas del foto sensor FC-37.

Característica	Valor
Voltaje de operación	5 volts
Valor de salida	Un analógico, 0 o 1 digital
Tamaño de Circuito comparador	3.2cm x 1.4cm; LM393
Área de la placa	5cm x 4cm
Sensibilidad	Ajustable con potenciómetro
Estado de detección	A través del led del PCB
Corriente	50 mA

Fuente: (Openhacks, 2018)

3.7.3. Sensor de humedad del suelo FC-28.

El principio de funcionamiento es similar al sensor de lluvia, este componente está separado por dos patas conductoras metálicas que forman la U, al entrar en contacto con el suelo detecta un grado de humedad, el cual produce un valor de corriente entre las placas,

valor que es detectado por el sensor; es una medida analógica, donde su valor se interpreta de la siguiente forma: si el valor se aproxima a 1024 significa que existe un suelo totalmente seco y si el valor se aproxima a 0 quiere decir que está completamente mojado. La Figura 24 muestra el aspecto visual de este componente y la Tabla 35 las especificaciones técnicas.

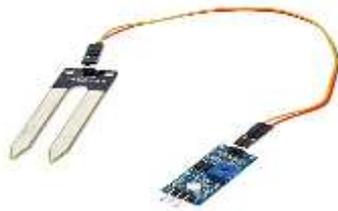


Figura 24. Foto sensor utilizado FC-28.
Fuente: (Box, 2016)

Tabla 35
Especificaciones técnicas del sensor FC-28.

Característica	Valor
Voltaje de operación	Entre 5 y 3 volts
Pines	4, alimentación, digital, analógico
Valor que obtiene	1023 totalmente terreno seco, 0 encharcado
Dimensión suelo	6cm x 3cm
Tamaño del pcb	Panel pcb dimensión: 3cm x 1.5cm.
Leds indicador	Rojo alimentado, verde en conmutación
Circuito comparador	LM393
Corriente	50 mA

Fuente: (FEC, 2018)

3.7.4. Sensor de flujo de agua YF-201.

EL sensor de flujo de agua está constituido por una válvula solenoide de plástico con un rotor para el agua y un sensor de efecto hall; al fluir el agua la velocidad del rotor varia respecto al flujo del líquido emitiendo un pulso eléctrico afectando al sensor de efecto hall. La Figura 25 muestra el aspecto visual de este componente y la Tabla 36 las especificaciones técnicas.



Figura 25. Foto sensor utilizado YF-201
Fuente: (NAYLAMP, 2016)

Tabla 36

Especificaciones técnicas del sensor YF-201.

Característica	Valor
Voltaje de operación	5,3 Volts
Cantidad de pines	amarillo control rojo alimentación (+) negro alimentación (-)
Capacidad máxima de caudal que mide	30 litros/min
Diámetro del orificio	½ pulgada
Presión que soporta	1.75 Mps
Activación	Con interrupciones del microcontrolador
Corriente	50 mA

Fuente: (Electronics, 2018)

3.7.5. Válvula solenoide HUNTER.

Este equipo está compuesto por una serie de componentes internos, su principal elemento es la bobina eléctrica sujeta a su estructura, donde al ser conectada a la red eléctrica ocasiona un fenómeno en el interior de la válvula solenoide, la cual logra obtener como resultado el paso y bloqueo de agua a través de este componente. Cuenta con un pequeño regulador de flujo que permite ajustar el nivel de flujo de agua La Figura 26 muestra el aspecto visual de este componente y la Tabla 37 sus especificaciones técnicas.



Figura 26. Válvula solenoide HUNTER.
Fuente: (HUNTER, 2018)

Tabla 37*Especificaciones técnicas de la válvula solenoide HUNTER.*

Características	Valor
Voltaje de operación	24 voltios AC
Diámetro del orificio	1 pulgada
Caudal que soporta	0,7 -150 Litros por minuto
Presión recomendada	1 - 10 Pascales
Corriente consume	350 mA
Temperatura que soporta	60 centígrados

Fuente: (Hunter, 2018)

3.7.6. Microcontrolador Arduino.

La comunidad (Arduino.cl, 2015) manifiesta que un Arduino es una tarjeta de desarrollo que utiliza un microcontrolador con conectividad USB incluida, donde esta incrustado el microcontrolador Atmega32U4. Este microcontrolador es controlado directamente con conectividad USB mediante librerías que permiten al Arduino Leonardo gestionar las conexiones con ciertos periféricos, tales como: teclado, mouse, joystick o bien el protocolo USB-HID, sensores, actuadores y otros.

3.7.7. Microcontrolador Arduino Leonardo.

Es la Placa desarrolladora basada en el IDE Arduino, contiene los pines para comunicación con otros equipos, tales como: sensores analógicos como digitales, control de motores y otros. Está orientado en la generación de proyectos que permitan tener un control en cualquier área que se desea aplicar. La Figura 27 muestra un aspecto visual de este componente y en la Tabla 38 las especificaciones técnicas.



Figura 27. Placa Arduino Leonardo.

Fuente: (SPAINLABS, 2017)

Tabla 38
Especificaciones técnicas del Arduino Leonardo.

Característica	Valor
Microcontrolador	Atmega32u4 32 Bits
Frecuencia	16 Mhz
Memoria RAM	2.5Kbyte
Memoria EEPROM	1 Kbyte
Memoria Flash	32 Kbyte
Tensión	5v 40 mA
Pines Analógicos	6 de entrada con resolución de 1024 bits
Pines de interrupción externa	2
Conexión UART	2
Conexión ISP	1
Conexión USB	Si, Nativa USB
Corriente en el pin de 5 V	500 mA
Voltaje de Alimentación USB	5Volts
Voltaje recomendado por Jack	7-12 Volts
Pines Digitales	10

Fuente: (SPAINLABS, 2017) y (Arduino, 2018)

3.7.8. Modulo XBee S2BPRO.

Es el dispositivo que permite la comunicación en una red WSN. La Figura 28 muestra el aspecto visual de este componente y la Tabla 37 sus especificaciones técnicas.

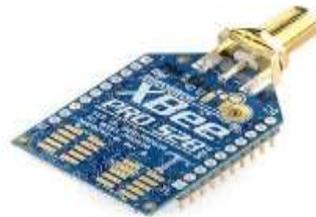


Figura 28. XBee s2bpro
Fuente: (Sparkfun, 2015)

Tabla 39
Especificaciones técnicas del módulo XBEE-S2B-PRO

Característica	Valor
Voltaje de operación	2.1 – 3.6V
Corriente de operación	33mA
Rango en interiores	60 metros
Rango en línea vista	1200 metros
Max valor lectura analógica:	1.2V
Pines I/O:	13 entradas análogas: 4 modificables como red

Firmware	mesh Red auto reparables Zigbee, Digimesh, 802.15.4
Velocidad de transmisión RF	250kbps Frecuencia: 2.4GHz - 2.5GHz
Temperatura operación:	-40 a 85°C

Fuente: (ELECTRONIC, 2017)

3.7.9. Shield para el módulo XBee VO3.

Es el escudo que ofrece la capacidad de adaptarlo al módulo XBee y conectarlo perfectamente en cualquier placa de desarrollo, por ejemplo: un Arduino Leonardo. La Figura 29 presenta el aspecto visual de este dispositivo shield XBee y la Tabla 40 muestra algunas especificaciones técnicas del shield XBee.



Figura 29. Shield Modulo XBee

Fuente: (Amazon, 2016)

Tabla 40

Especificaciones técnicas del shield XBEE versión 3

Característica	Valor
potencia de salida	3,3 V y 5 V
Pines input/output	14
Conexión	cable mini USB, Bluetooth
Bitbang	modo de lista
protocolo USB	2.0
Tamaño Aprox.	55x50x10mm
Material	Plástico

Fuente: (Amazon, 2016)

3.7.10. Placa de desarrollo Raspberry PI 3.

Es una placa de tamaño reducido que permite emular acciones de un ordenador, la cual está compuesta por pines denominados GPIO⁸ con un slot para insertar una SD Card y cargarle un sistema operativo. Su procesador es altamente confiable que proviene de la

⁸ GPIO : Output Input Purpose General, Salidas y entradas de propósito general

familia de procesadores ARM; su invención fue para elaborar trabajos que puedan presentarse con el uso del internet de las cosas, por ejemplo: controlar una casa, tener un sistema propio de video vigilancia entre otros. El aspecto visual de la placa raspberry pi 3 se muestra en la Figura 30 y sus especificaciones técnicas en la Tabla 41.



Figura 30. Placa Desarrollo Raspberry Pi3
Fuente: (Beguer, 2017)

Tabla 41
Especificaciones Técnicas Raspberry Pi3

Características	Valor
procesador multimedia	de doble núcleo Videocore
Chipset	Broadcom BCM2837 a 1,2 GHz
Procesador	ARM Cortex-A53 de 64 bits y cuatro núcleos
Protocolo TCP	LAN Inalámbrica 802.11 b/g/n
Bluetooth	4.1 (Clásico y Baja Potencia)
Memoria	LPDDR2 de 1 GB LPDDR2 de 1 GB
Compatibilidad	con todas las últimas distribuciones de ARM GNU/Linux y Windows 10 IoT
Conector micro USB para fuente de alimentación	1 de 2,5 Amperios
Ethernet	1 puerto 10/100
Conector de vídeo/audio hdmi	1
Conector de vídeo/audio rca	1
Conector de cámara csi	1
Puertos USB 2.0	4

Pines GPIO	40
Antena de chip	1
Conector de pantalla DSI	1
Ranura de tarjeta microSD	1
Dimensiones	85 x 56 x 17 mm

Fuente: (SHOP, 2017)

3.8. Diseño del sistema.

El esquema de este sistema es construido enfatizando la utilidad del modelo en V, con el cual se ha podido identificar los coeficientes más directos a tratar en este estudio; de esta manera permitir la selección de instrumentos adecuados para conseguir una buena gestión del sistema y lograr que el sistema de riego basado en lógica difusa trabaje de forma independiente.

Después de seleccionar los componentes de Hardware y Software se inicia con la integración del prototipo propuesto.

3.8.1. Controlador difuso para el sistema de riego.

Se decide dividir cada parte del sistema inteligente con el fin de gestionar la información de forma adecuada; se traduce los factores que contiene un sistema de riego en términos difusos. En el capítulo 2 se especificó paso a paso el modo de determinar un controlador difuso.

3.8.1.1. Universo de discurso.

Esta comprendido por parámetros que son determinantes al momento de aplicar un riego; se consideran como variables de análisis, las cuales se familiarizan con la meteorología, tales como: temperatura y humedad del ambiente, humedad del suelo y precipitación. La principal razón que ayudo a la selección de las variables de trabajo es

inicialmente reducir su complejidad; la forma matemática de traducirlas a la literatura difusa resulta de la siguiente forma.

$$X = [0,40] \Rightarrow \{x \in X\} \Rightarrow \text{grados Centigrados}(C)$$

$$Y = [0,100] \Rightarrow \{y \in Y\} \Rightarrow \text{porcentaje}(100\%)$$

$$Z = [0,1024] \Rightarrow \{z \in Z\} \Rightarrow \text{Valor Analógico}$$

$$P = [0,1024] \Rightarrow \{p \in P\} \Rightarrow \text{Valor Analógico}$$

$$T = [0,3600] \Rightarrow \{t \in T\} \Rightarrow \text{segundos}(s)$$

Donde:

$X(\text{temperatura_Ambiente})$

$Y(\text{Humedad_Ambiente})$

$Z(\text{humedad_suelo})$

$P(\text{Precipitacion})$

$T(\text{Tiempo de Riego})$

Con el módulo “Scikit Fuzzy” de Python se definen los conjuntos y los subconjuntos difusos con sus respectivos universos de discurso, tal y como se muestra en la Figura 31.

$$\text{Univesros de discurso} \left\{ \begin{array}{l} \text{Temperatura_Ambiente}\{temp - A = np.arange[0,40,1] \\ \text{Humedad_Ambiente}\{hum - A = np.arange[0,100,1] \\ \text{Temperatura_Suelo}\{temp - S = np.arange[0,1024,1] \\ \text{Presipitacio}\{prec = np.arange[0,1024,1] \\ \text{Tiempo_de_riego}\{tiempo = np.arange[0,3600] \end{array} \right.$$

Figura 31. Rango de universos de discurso expresadas con Scikit-Fuzzy
Fuente: Elaborada por el Autor

El universo de discurso favorece en determinar las fronteras de operación que puede tomar cada elemento en su respectivo conjunto, están limitados a las propiedades de trabajo que ofrece cada sensor, donde se planteó un análisis respectivo.

El sensor de Temperatura Ambiente retorna dos valores reales, tales como: Temperatura Ambiente en la unidad de medida que depende de la transformación que se aplique en la programación (centígrados, Kelvin), su rango de operación se ajusta al área de aplicación, por lo tanto, el rango de uso en el sistema está en relación con los valores que predominen en dicha zona; la temperatura mínima que se ha registrado en la zona es de 10 grados centígrados y su temperatura máxima alcanza los 40 grados centígrados, sin embargo, considerando la posibilidad de alteración de esos valores se decidió establecer el rango de 8 a 40 grados Centígrados considerando un ambiente crítico.

La segunda magnitud que mide es la humedad del ambiente, donde el valor es expresado en porcentaje y oscila de 0 a 100 %.

La humedad del suelo se obtiene con el sensor FC-28, su valor de trabajo se mide en valor analógico que se interpreta indistintamente, ya que opera en un rango que va de 0 a 1024 y estos valores son fáciles de adaptar al controlador.

El sensor YF-201 ayuda a detectar el estado de Precipitación (lluvia), cuyo modo de operación proporciona dos estados, estado de presencia de lluvia cuando evalúa el valor analógico menor a 512 y la ausencia cuando evalúa mayor a 1024 lo que implica que su rango son los valores entre 0 y 1024.

Finalmente, el “Tiempo de riego” que se plantea es 1 hora y considerando un apropiado control de su unidad se define en traducirlos a segundos, lo que significa un valor de 0 a 3600 segundos.

3.8.1.2. Selección de conjuntos difusos.

Como primera fase se determina que variables pueden ser tratadas como conjuntos difusos, donde se determinaron cuatro variables de medición, tales como: temperatura como humedad de ambiente, humedad del suelo y “Precipitación”. En el entorno de la lógica difusa manifiesta que un conjunto es considerado borroso cuando presenta las siguientes características: no existen valores exactos que ayuden a comprobar la veracidad de su objetividad y existe valores intermedios que están relaciones con conceptos asociados a un lenguaje heurístico.

La Temperatura Ambiente es una magnitud física donde el razonamiento humano aprendió a interpretar ese valor en diferentes expresiones, tales como: frío, abrigado, normal, además es posible adherirlo a un término cuantificador (muy, demasiado, poco); por comodidad la inteligencia del ser humano asocia estos términos a las expresiones anteriores y como resultado se obtienen los siguientes subconjuntos difusos: muy abrigado, demasiado abrigado, poco abrigado, esto reduce la complejidad al referirse exactamente al valor real, ya que son entornos inciertos, por lo tanto, la Temperatura Ambiente es un conjunto difuso y contiene subconjuntos.

La humedad del ambiente del ambiente es una magnitud física, se mide en porcentaje y consiste en la cantidad de vapor de agua dispersa en el aire; con frecuencia se presenta en los siguientes casos: mucha presencia de agua, poca presencia de agua y se interpreta como información imprecisa; es muy simple asignarle un determinado termino cuántico, por lo tanto, se establece como conjunto difuso.

La humedad del suelo es una magnitud física, es común que en un riego suele presentarse como: seco, húmedo y puede asociarse a un determinado valor lingüístico, por ejemplo: muy húmedo, poco húmedo, por lo tanto, se considera como un conjunto difuso.

La Precipitación solo es la sensación de percibir la presencia de lluvia en el ambiente, se acostumbra a pronunciar directamente presencia de lluvia, ausencia lluvia, por lo tanto, es un conjunto difuso.

Se establece como respuesta del sistema el tiempo de riego, esto debido al cambio constante que suelen producirse en las variables meteorológicas en el transcurso de un tiempo, este suele expresarse como: nada, poco, regular y mucho riego. Estas situaciones se caracterizan por valores intermedios e inexactos, por lo tanto, es apto para estudiarlo con lógica difusa; el producto de esto es el conjunto difuso de salida del sistema. La Tabla 42 muestra las entradas como la salida de los distintitos conjuntos difusos que pertenecen al control difuso del prototipo.

Tabla 42
Conjuntos borrosos del sistema de riego.

Tipo Conjunto	Conjunto
ENTRADA	Temperatura Ambiente
	Humedad Ambiente
	Precipitación
	Humedad Suelo
SALIDA	Tiempo de riego

Fuente: Elaborada por el Autor

3.8.1.3. Distribución borrosa.

En las variables difusas es posible aplicar diversas particiones, obteniendo así varios subconjuntos difusos. Según (Isabel, 2012) existen ciertas condiciones en la selección del número de divisiones que pueden originarse, tales como: el total de particiones debe ser un

número impar (3,5,7), las particiones deben ser completas (envolver totalmente al conjunto) y el porcentaje de coincidencia entre particiones debe ser de un 20% a 50%. Al margen de estas condiciones se plantea la alternativa en distribuir de la siguiente forma: cinco subconjuntos para temperatura ambiente, cinco subconjuntos para Humedad del suelo, tres subconjuntos para Humedad del ambiente, dos subconjuntos para Precipitación y 5 subconjuntos para Tiempo de riego. La distribución de los conjuntos difusos del sistema se muestra en la Figura 32.

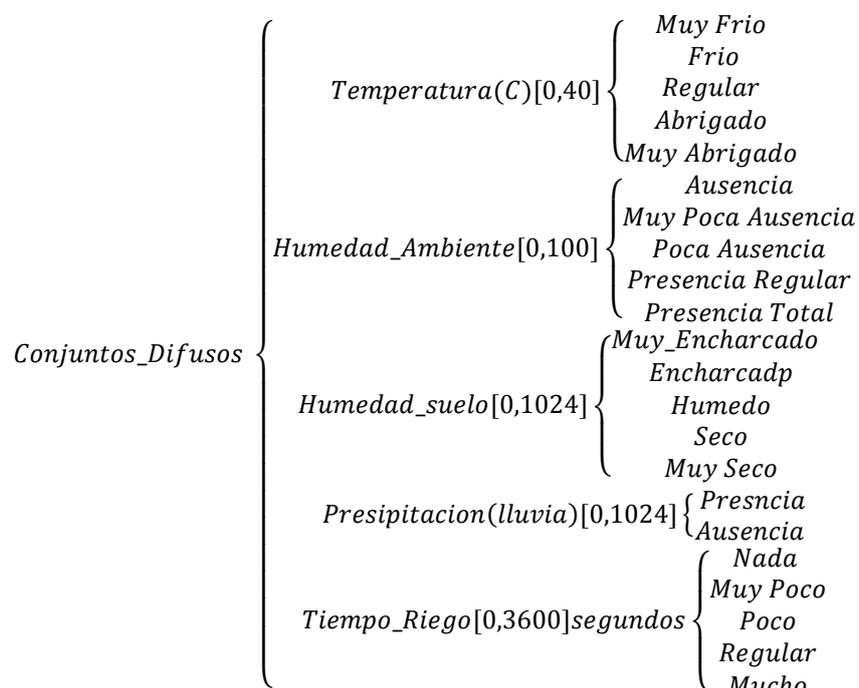


Figura 32. Distribución borrosa del sistema de riego
Fuente: Elaborada por el Autor

3.8.1.4. Selección de la función de membresía para los conjuntos borrosos.

Existen varias metodologías para representar esta función de membresía, donde el más conocido es la función triangular por su simplicidad de comprender; servirá para asignar los subconjuntos de cada conjunto borroso con su respectiva expresión matemática, por ejemplo: el valor evaluado por un sensor es un elemento que puede pertenecer a cualquier subconjunto difuso, el cual está contenido en un conjunto difuso(variable de riego) con cierto

grado de pertenecía(revisar el capítulo 2 lógica difusa). La Figura 33 muestra la función de membrecía seleccionada para el controlador difuso de riego.

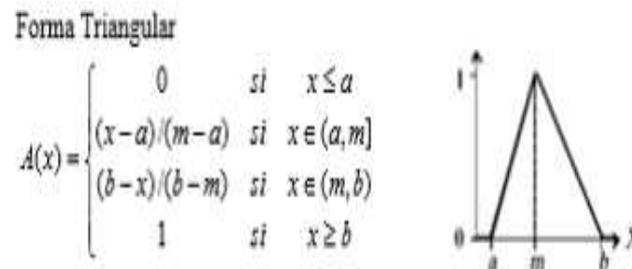


Figura 33. Función de membrecía triangular
Fuente: Elaborada por el Autor

Con el módulo “Scikit Fuzzy” se generan los subconjuntos correspondientes a cada conjunto borroso, donde el modo correcto de emplearse se muestra en la Tabla 43.

Tabla 43
Instrucciones que declara la función de membrecía con “Scikit Fuzzy”

Instrucción	Declaración “Scikit Fuzzy”
1	<i>Subconjunto = fuzz.trimf(X,[a,b,c])</i>
2	<i>trimf = Función de Membrecía Triangular</i>
3	<i>X = Universo de Discurso</i>
4	<i>a,b,c = vértices del triángulo</i>

Fuente: Elaborada por el Autor

La Tabla 44 muestra las instrucciones correspondientes a las distintas funciones de membrecía del controlador difuso.

Tabla 44
Funciones de membrecía del Controlador difuso de riego

Función de membrecía	Declaración “Scikit Fuzzy”
Temperatura Ambiente	<pre>temp_A_Muy_Frio = fuzz.trimf(temp_A,[0,0,8]) temp_A_Frio = fuzz.trimf(temp_A,[0,8,16]) temp_A_Regular = fuzz.trimf(temp_A,[8,16,24]) temp_A_Abrigado = fuzz.trimf(temp_A,[16,24,32]) temp_A_Muy_Abrigado = fuzz.trimf(temp_A,[24,32,32])</pre>
humedad del suelo	<pre>hum_S_Encharcado = fuzz.trimf(hum_S,[0,0,300]) hum_S_Muy_Humedo = fuzz.trimf(hum_S,[0,300,650]) hum_S_Humedo = fuzz.trimf(hum_S,[300,650,880]) hum_S_Seco = fuzz.trimf(hum_S,[650,880,1024]) hum_S_Muy_Seco = fuzz.trimf(hum_S,[880,1024,1024])</pre>
Humedad del Ambiente	<pre>hum_A_Ausente = fuzz.trimf(hum_A,[0,0,50]) hum_A_Poca_Ausencia = fuzz.trimf(hum_A,[0,50,100]) hum_A_Totalmente_Presente = fuzz.trimf(hum_A,[50,100,100])</pre>

Precipitaciòn	<pre>prec_Presente = fuzz.trimf(prec,[0,0,512]) prec_Ausente = fuzz.trimf(prec,[512,1024,1024])</pre>
Tiempo Riego	<pre>tiempo_Nada = fuzz.trimf(tiempo,[0,0,0]) tiempo_Muy_Poco = fuzz.trimf(tiempo,[0,900,1800]) tiempo_Poco = fuzz.trimf(tiempo,[900,1800,2700]) tiempo_Regular = fuzz.trimf(tiempo,[1800,2700,3600]) tiempo_Mucho = fuzz.trimf(tiempo,[2700,3600,3600])</pre>

Fuente: Elaborada por el Autor

El siguiente proceso que incluye la librería “Scikit Fuzzy” consiste en activar la función de membrecía de cada subconjunto, donde los valores medidos por los sensores son necesarios; son parámetros de las funciones que requiere este módulo. La forma adecuada en declarar este proceso se muestra en las instrucciones expuestas en la Tabla 45.

Tabla 45
Instrucciones que activan las funciones de membrecía

Instrucción	Declaraciòn con “Scikit Fuzzy”
1	<i>Subconjunto = fuzz.interp_membership(X1,x1,a1)</i>
2	<i>X1 → Universo de Discurso</i>
3	<i>x1 = funcion de membrecia</i>
4	<i>a1 = Elemento de discurso (valor medido por el sensor)</i>

Fuente: Elaborada por el Autor

La Tabla 46 muestra las instrucciones que activa las funciones de membrecia del controlador difuso que pertenecen a los conjuntos de entradas.

Tabla 46
Instrucciones que activa las funciones de Membrecía del Control Difuso

Conjunto Difuso	Declaraciòn con “Scikit Fuzzy”
Temperatura Ambiente	<pre>temp_A_level_Muy_Frio = fuzz.interp_membership(temp_A,temp_A_Muy_Frio,a1) temp_A_level_Frio = fuzz.interp_membership(temp_A,temp_A_Frio,a1) temp_A_level_Regular = fuzz.interp_membership(temp_A,temp_A_Regular,a1) temp_A_level_Abrigado = fuzz.interp_membership(temp_A,temp_A_Abrigado,a1) temp_A_level_Muy_Abrigado = fuzz.interp_membership(temp_A,temp_A_Muy_Abrigado,a1)</pre>
humedad del suelo	<pre>hum_S_level_Encharcado = fuzz.interp_membership(hum_S,hum_S_Encharcado,b1) hum_S_level_Muy_Humedo = fuzz.interp_membership(hum_S,hum_S_Muy_Humedo,b1) hum_S_level_Humedo = fuzz.interp_membership(hum_S,hum_S_Humedo,b1) hum_S_level_Seco = fuzz.interp_membership(hum_S,hum_S_Seco,b1) hum_S_level_Muy_Seco = fuzz.interp_membership(hum_S,hum_S_Muy_Seco,b1)</pre>

Humedad del Ambiente	<pre> hum_A_level_Ausente = fuzz.interp_membership(hum_A, hum_A_Ausente, c1) hum_A_level_Poca_Ausencia = fuzz.interp_membership(hum_A, hum_A_Poca_Ausencia, c1) hum_A_level_Totalmente_Presente = fuzz.interp_membership(hum_A, hum_A_Totalmente_Presente, c1) </pre>
Precipitación.	<pre> prec_level_Ausente = fuzz.interp_membership(prec, prec_Ausente, d1) prec_level_Presente = fuzz.interp_membership(prec, prec_Presente, d1) </pre>

Fuente: Elaborada por el Autor

3.8.1.5. Distribuciones borrosas del controlador difuso.

Una distribución de un conjunto en subconjuntos borrosos consiste en cumplir ciertas condiciones que son procedimientos matemáticamente propuestos por expertos en lógica difusa que deben cumplir dos condiciones siguientes: ser proporcionales y estar unidos a un término lingüístico apropiado.

En Temperatura Ambiente generalmente se presentan situaciones como: abrigado, frio y normal, que adicionalmente conforman subconjuntos difusos asociados a un término cuantitativo (Muy Frio, Muy Abrigado), donde el resultado representa a cinco subconjuntos en Temperatura Ambiente.

Es importante analizar el valor de temperatura que puede corresponder a cada subconjunto, en donde el subconjunto será representado por expresiones matemáticas que pertenecen a la función de membrecía triangular de todo el conjunto. Con ayuda de Matlab la Figura 34 muestra la distribución difusa de la variable Temperatura Ambiente.

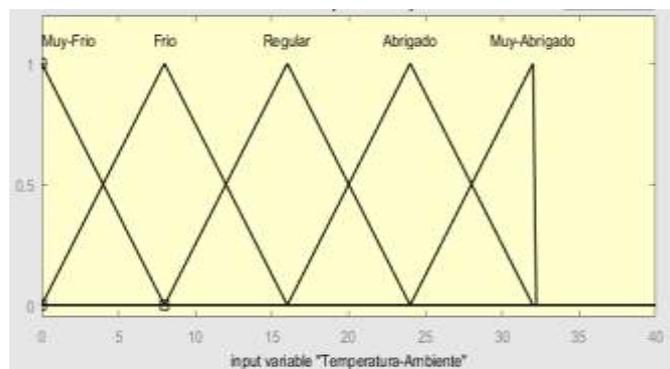


Figura 34. Función de membrecía de la Temperatura Ambiente
Fuente: Elaborada por el Autor

EL primer subconjunto es Muy Frio, su rango va de 0 a 8° y se solapa con el subconjunto Frio con los mismos valores; el subconjunto Frio va de 0 a 16° y se solapa con el subconjunto Muy frio y Regular, el subconjunto Regular va de 8 a 24° y se solapa con el subconjunto Abrigado; el subconjunto Abrigado va de 16 a 32° y se solapa con los subconjuntos Muy Abrigado y Regular, el subconjunto Muy Abrigado se considera a partir del valor mayor de 32° y se solapa con el subconjunto Abrigado. La Función matemática de la Gráfica de la Figura del conjunto borroso Temperatura Ambiente se muestra en la Figura 35.

$$\text{Temperatura_Ambiente}[0,40] \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Muy Frio}[0,8] \left\{ \begin{array}{l} \frac{8-x}{8} \text{ si } x \in (0,8) \\ x \text{ si } x \in (8,16) \end{array} \right. \\
 \text{Frio}[0,16] \left\{ \begin{array}{l} \frac{16-x}{8} \text{ si } x \in (8,16) \\ \frac{x-8}{8} \text{ si } x \in (16,24) \end{array} \right. \\
 \text{Regular}[8,24] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-16}{8} \text{ si } x \in (16,24) \\ \frac{32-x}{8} \text{ si } x \in (24,32) \end{array} \right. \\
 \text{Abrigado}[16,32] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-24}{8} \text{ si } x \in (24,32) \\ 1 \text{ si } x > 32 \end{array} \right. \\
 \text{Muy Abrigado}[24,32] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-24}{8} \text{ si } x \in (24,32) \\ 1 \text{ si } x > 32 \end{array} \right.
 \end{array} \right.$$

Figura 35. Distribución borrosa de la Temperatura Ambiente.
Fuente: Elaborada por el Autor

La Humedad del ambiente se distribuye en cinco subconjuntos difusos expresados del siguiente modo: 0% para Ausencia Total, de 0 a 40 % le pertenece al subconjunto Muy Poco Ausente, de 40 a 800 % le pertenece al subconjunto Poco Presencia y se solapa con los subconjuntos Muy Poco Ausente y Totalmente Presente; y solo el 100 % le pertenece al subconjunto Totalmente Presente que se solapa con el subconjunto Poco Ausencia. Gráficamente el conjunto borroso Humedad del ambiente se muestra en la Figura 36.

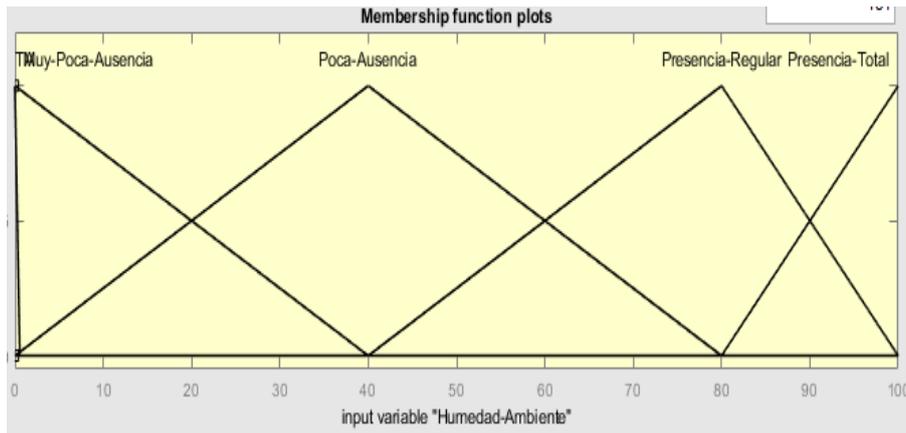


Figura 36. Función membrecía de la Humedad de Ambiente.
Fuente: Elaborada por el Autor

La función de membrecía del conjunto Humedad del ambiente se muestra en la Figura 37.

$$\text{Humedad_Ambiente}[0,100] \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Ausencia Total}[0,0] \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ si } x \in (0,0) \\ \frac{40-x}{40-0} \text{ si } x \in (0,40) \end{array} \right. \\
 \text{Muy Poca Presencia}[0,40] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x}{80-40} \text{ si } x \in (0,40) \\ \frac{80-x}{80-40} \text{ si } x \in (40,80) \end{array} \right. \\
 \text{Poca Presencia}[0,80] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-40}{80-40} \text{ si } x \in (40,80) \\ \frac{100-x}{100-80} \text{ si } x \in (80,100) \end{array} \right. \\
 \text{Presencia Regular}[40,100] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-80}{100-80} \text{ si } x \in (80,100) \\ 1 \text{ si } x = 100 \end{array} \right. \\
 \text{Totalmente Presencia}[80,100]
 \end{array} \right.$$

Figura 37. Distribución borrosa de la Humedad de Ambiente
Fuente: Elaborada por el Autor

El próximo conjunto difuso es la Precipitación (lluvia) que opera en dos estados, en Ausencia de lluvia con un valor de 512 a 1024 y la presencia de la misma cuando marque el valor de 512 a 0. Su función de membrecía se muestra en la Figura 38.

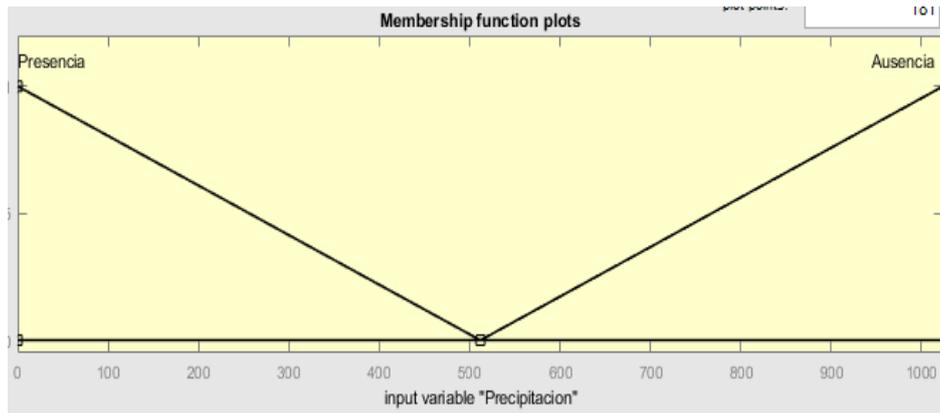


Figura 38. Función de membrecía de la Precipitación
Fuente: Elaborada por el Autor

EL subconjunto Ausente toma valores de 512 a 1024 y se solapa con el subconjunto Presente; el subconjunto Presente va de 0 a 512 y se solapa con el subconjunto Ausente. La expresion matematica del conjunto Precipitación se muestra en la Figura 39.

$$Precipitacion[0,1024] \begin{cases} Presente[0] \left\{ \frac{512 - x}{512} \text{ si } x \in (0,512] \right. \\ Ausente[1024] \left\{ \frac{1024 - x}{512} \text{ si } x \in (512,1024] \right. \\ 1 \text{ si } x > 1024 \end{cases}$$

Figura 39. Distribución borrosa de la Precipitación
Fuente: Elaborada por el Autor

El siguiente conjunto borroso es la humedad del suelo, donde los valores que se obtiene de su sensor varia de 0 a 1024, esto permite la posibilidad de distribuirlo en subconjuntos; los términos lingüísticos que comúnmente se usan son: seco, húmedo, encharcado y proporcionan la simplicidad de peticionarle en nuevos subconjuntos con términos de cuantificación (Muy Seco, Muy Húmedo). Su función de membrecía se muestra en la Figura 40.

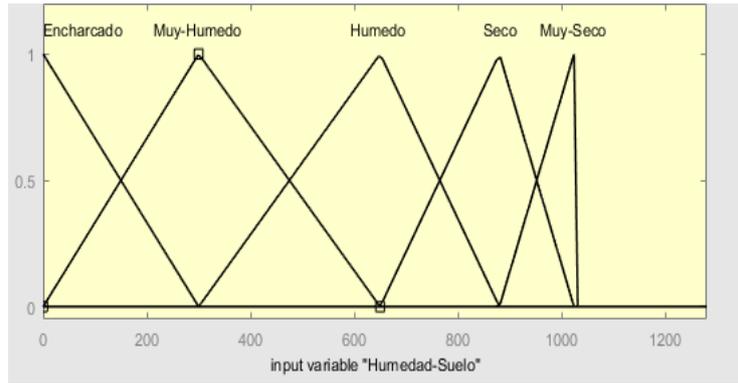


Figura 40. Función de Membrecía del conjunto humedad del suelo
Fuente: Elaborada por el Autor

El subconjunto Encharcado ocupa valores de 0 a 300 y se solapa con el subconjunto Muy Humedo, el subconjunto Humedo ocupa valores de 0 a 650 y se solapa con los subconjuntos Encharcado y Humedo, el subconjunto Humedo ocupa de 350 a 850 y se solapa con los subconjuntos Muy Humedo y Seco, el subconjunto Seco ocupa de 650 a 1024 y se solapa con lps subconjuntos Humedo Y Muy Seco, el subconjunto Muy Seco ocupa de 850 en adelante y se solapa con el subconjunto Seco. La exprsion matematica de esa funcion se muestra en la Figura 41.

$$\text{Humedad del Suelo}[0,100] \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Encharcado}[0,300] \left\{ \begin{array}{l} \frac{800-x}{800} \text{ si } x \in (0,300] \\ 0 \text{ si } x > 300 \end{array} \right. \\
 \text{Muy Humedo}[0,650] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x}{300} \text{ si } x \in (0,300] \\ \frac{650-x}{350} \text{ si } x \in (300,650] \\ 0 \text{ si } x > 650 \end{array} \right. \\
 \text{Humedo}[300,880] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-300}{350} \text{ si } x \in (300,650] \\ \frac{880-x}{230} \text{ si } x \in (650,880] \\ 0 \text{ si } x > 880 \end{array} \right. \\
 \text{Seco}[650,1024] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-650}{230} \text{ si } x \in (650,880] \\ \frac{1024-x}{144} \text{ si } x \in (880,1024] \\ 0 \text{ si } x > 1024 \end{array} \right. \\
 \text{Muy Seco}[880,1024] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-880}{144} \text{ si } x \in (880,1024] \\ 1 \text{ si } x >= 1024 \end{array} \right.
 \end{array} \right.$$

Figura 41. Distribución borrosa de la humedad del suelo.
Fuente: Elaborada por el Autor

Finalmente, se determina la distribución borrosa del conjunto de salida, donde se considera el tiempo de riego que comúnmente se presenta con los siguientes términos: nada, muy poco, regular, mucho, bastante y es expresado en unidades de segundos. Estos términos son el resultado de distribuir el conjunto tiempo en varias proporciones; el tiempo máximo que se propone inicialmente es de una hora, que corresponde a 3600 segundos y este valor se distribuye para cada subconjunto. La expresión matemática se muestra en la Figura 42.

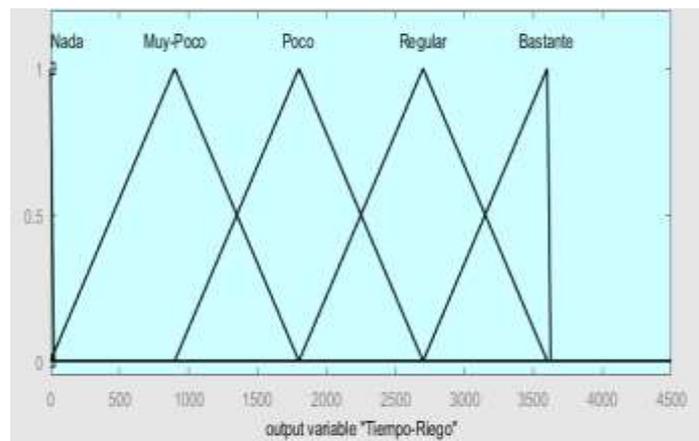


Figura 42. Función de membresía del Tiempo
Fuente: Elaborada por el Autor

El conjunto tiempo se distribuye en los siguientes subconjuntos: el subconjunto Nada solo toma el valor de tiempo 0 segundos, el subconjunto Muy Poco va de 0 a 1800 segundos y se solapa con el subconjunto Poco; el subconjunto Poco va de 900 a 2700 segundos y se solapa con los subconjuntos Muy poco y Regular; el subconjunto Regular va de 1800 a 3600 segundos y se solapa con los subconjuntos Poco y Bastante; el subconjunto Bastante va de 2700 a 3600 segundos y se solapa con el subconjunto Regular. La expresión matemática de la función de membresía del conjunto difuso de salida se muestra en la Figura 43.

$$\text{empo riego}[0,3600] \left\{ \begin{array}{l}
\text{Nada}[0] \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ si } x < 0 \\ \frac{x}{900} \text{ si } x \in (0,900] \\ \frac{1800-x}{900} \text{ si } x \in (900,1800] \end{array} \right. \\
\text{Muy Poco}[0,1800] \\
\text{Poco}[900,2700] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-900}{900} \text{ si } x \in (900,1800] \\ \frac{2700-x}{900} \text{ si } x \in (1800,2700] \end{array} \right. \\
\text{Regular}[1800,3600] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-1800}{900} \text{ si } x \in (1800,2700] \\ \frac{3600-x}{900} \text{ si } x \in (2700,3600] \end{array} \right. \\
\text{Bastante}[2700,3600] \left\{ \begin{array}{l} \frac{x-2700}{900} \text{ si } x \in (2700,3600] \\ 1 \text{ si } x \geq 3600 \end{array} \right.
\end{array} \right.$$

Figura 43. Distribución borrosa del Tiempo de riego
Fuente: Elaborada por el Autor

3.8.1.4. Reglas Borrosas.

Es una etapa muy esencial, es donde se generan las reglas difusas con todas las posibles combinaciones de los subconjuntos difusos, con un total de subconjuntos disponibles de 22, los cuales se identifican en la Figura 32; para determinar la cantidad de reglas posibles simplemente se multiplica los subconjuntos entre cada conjunto, siendo el caso de contar con la cantidad de 150 reglas posibles, valor obtenido al multiplicar los subconjuntos de la siguiente firma: $5 \times 5 \times 3 \times 2$; la cantidad de reglas se puede reducir con un análisis exhaustivo acerca de las posibles situaciones que no pueden suceder; para minimizar los subconjuntos es apropiado ordenarlos y asignarles abreviaciones. Finalmente, esta afirmación se muestra en la Figura 43.

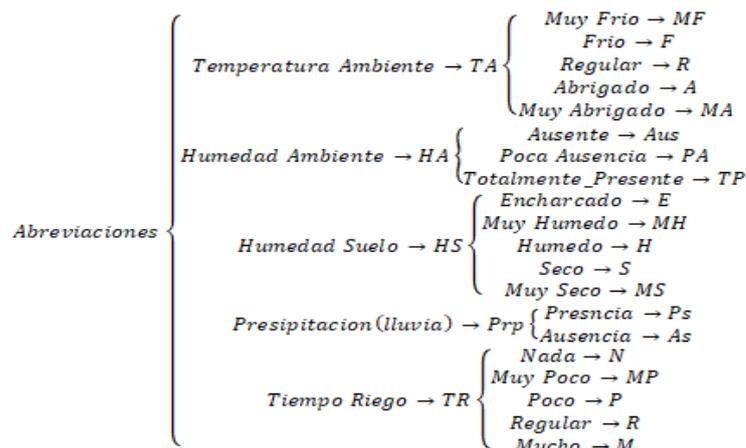


Figura 44. Abreviación de los conjuntos borrosos del sistema difuso
Fuente: Elaborada por el Autor

Realizando el análisis de las posibles situaciones entre los subconjuntos, la base de datos de Reglas está compuestas por 50 Reglas, donde al trasladarse a matemática difusa resultan tal y como se muestran en la Tabla 47.

Tabla 47
Base de datos de reglas difusas.

Numero de Regla	Regla
1	IF TA es MF AND HA es TP AND HS es E AND PR es AS entonces TR es N
2	IF TA es MF AND HA es TP AND HS es E AND PR es PS entonces TR es N
3	IF TA es MF AND HA es TP AND HS es MH AND PR es PS entonces TR es N
4	IF TA es MF AND HA es TP AND HS es MH AND PR es AS entonces TR es N
5	IF TA es MF AND HA es TP AND HS es H AND PR es AS entonces TR es N
6	IF TA es MF AND HA es TP AND HS es H AND PR es PS entonces TR es N
7	IF TA es MF AND HA es TP AND HS es S AND PR es AS entonces TR es R2
8	IF TA es MF AND HA es TP AND HS es S AND PR es PS entonces TR es N
9	IF TA es MF AND HA es TP AND HS es MS AND PR es PS entonces TR es N
10	IF TA es MF AND HA es TP AND HS es MS AND PR es AS entonces TR es R2
11	IF TA es F AND HA es PA AND HS es E AND PR es AS entonces TR es N
12	IF TA es F AND HA es PA AND HS es E AND PR es PS entonces TR es N
13	IF TA es F AND HA es PA AND HS es MH AND PR es AS entonces TR es N
14	IF TA es F AND HA es PA AND HS es MH AND PR es PS entonces TR es N
15	IF TA es F AND HA es PA AND HS es H AND PR es AS entonces TR es N
16	IF TA es F AND HA es PA AND HS es H AND PR es AS entonces TR es N
17	IF TA es F AND HA es PA AND HS es S AND PR es PS entonces TR es N
18	IF TA es F AND HA es PA AND HS es S AND PR es AS entonces TR es R2
19	IF TA es F AND HA es PA AND HS es MS AND PR es AS entonces TR es R2
20	IF TA es F AND HA es PA AND HS es MS AND PR es PS entonces TR es N
21	IF TA es R1 AND HA es PA AND HS es E AND PR es AS entonces TR es N
22	IF TA es R1 AND HA es PA AND HS es E AND PR es PS entonces TR es N
23	IF TA es R1 AND HA es PA AND HS es MH AND PR es AS entonces TR es N
24	IF TA es R1 AND HA es PA AND HS es MH AND PR es PS entonces TR es N

25	IF TA es R1 AND HA es PA AND HS es H AND PR es AS entonces TR es N
26	IF TA es R1 AND HA es PA AND HS es H AND PR es PS entonces TR es N
27	IF TA es R1 AND HA es PA AND HS es S AND PR es AS entonces TR es R
28	IF TA es R1 AND HA es PA AND HS es S AND PR es PS entonces TR es N
29	IF TA es R1 AND HA es PA AND HS es MS AND PR es AS entonces TR es M
30	IF TA es R1 AND HA es PA AND HS es MS AND PR es PS entonces TR es N
31	IF TA es A AND HA es AS AND HS es E AND PR es AS entonces TR es N
32	IF TA es A AND HA es AU AND HS es E AND PR es PS entonces TR es N
33	IF TA es A AND HA es AU AND HS es MH AND PR es AS entonces TR es N
34	IF TA es A AND HA es AU AND HS es MH AND PR es PS entonces TR es N
35	IF TA es A AND HA es AU AND HS es H AND PR es AS entonces TR es P
36	IF TA es A AND HA es AU AND HS es H AND PR es PS entonces TR es N
37	IF TA es A AND HA es AU AND HS es S AND PR es AS entonces TR es R2
38	IF TA es A AND HA es AU AND HS es S AND PR es PS entonces TR es N
39	IF TA es A AND HA es AU AND HS es MS AND PR es AS entonces TR es M
40	IF TA es A AND HA es AU AND HS es MS AND PR es PS entonces TR es N
41	IF TA es MA AND HA es AU AND HS es E AND PR es AS entonces TR es N
42	IF TA es MA AND HA es AU AND HS es E AND PR es PS entonces TR es N
43	IF TA es MA AND HA es AU AND HS es MH AND PR es AS entonces TR es N
44	IF TA es MA AND HA es AU AND HS es MH AND PR es PS entonces TR es N
45	IF TA es MA AND HA es AU AND HS es H AND PR es AS entonces TR es P
46	IF TA es MA AND HA es AU AND HS es H AND PR es PS entonces TR es N
47	IF TA es MA AND HA es AU AND HS es S AND PR es AS entonces TR es M
48	IF TA es MA AND HA es AU AND HS es S AND PR es PS entonces TR es N
49	IF TA es MA AND HA es AU AND HS es MS AND PR es AS entonces TR es M
50	IF TA es MA AND HA es AU AND HS es MS AND PR es PS entonces TR es N

Fuente: Elaborada por el Autor

Estas reglas se pueden modificar basándose en la experiencia y conocimiento del experto en riego. El próximo paso es generar las reglas con el módulo “Scikit Fuzzy”, donde todas las reglas tienen la particularidad de contar con una similar operación lógica considerada como AND; la solución a este tipo de operación es mediante el método Max y se define como intersección, sin embargo, el problema existe al tener 4 subconjuntos, por lo tanto, este caso se resolvió aplicando una de las propiedades de lógica difusa, la cual se la conoce como distributiva y es representada con la ecuación 7.

$$A \cap B \cap C \cap D = (A \cap B) \cap (C \cap D) \\ \min(\min(uA, uB), \min(uC, uD)) \quad (7)$$

La ecuación 7 se aplica a las 50 reglas difusas de la Tabla 47, ya que es requerida para el empleo del módulo “Scikit Fuzzy”. La ecuación 8 indica la evaluación de la regla difusa mediante el módulo “Scikit Fuzzy”

$$\text{active} - \text{rule1} = \\ \text{np.fmin}(\text{np.fmin}(\text{tem_A_level_Muy_Frio}, \text{hum_S_level_Encharcado}), \\ \text{np.fmin}(\text{prec_level_Presente}, \text{hum_A_level_Totalmente_presente})) \quad (8)$$

3.8.1.6. Mecanismo de inferencia Borrosa.

En base a la matemática de lógica difusa, la cual propone el uso de otro proceso difuso por cada regla que exista, donde se agrega el mecanismo de inferencia difusa; la ecuación matemática para obtener el cálculo es por el método de los mínimos (Min), tal y como se muestra en la ecuación 9.

$$\text{tiempo_Activacion_Nada_1} = \text{np.fmin}(\text{active_rule1}, \text{tiempo_Nada}) \quad (9)$$

3.8.1.6. Agregado.

Como se manifiesta en la teoría de lógica difusa, se obtienen una serie de respuestas en términos difusos producidas por las reglas difusas que son denominadas como salidas; para interpretar el resultado es obligatorio agrupar esas salidas, este proceso se conoce como agregado y es utilizado con el módulo “Scikit Fuzzy” por la técnica de los Máximos(Max). La forma de encontrar el resultado se muestra en la ecuación 10.

```
aggregated = np.fmax(tiempo_Activacion_1,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_2,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_3,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_4,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_5,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_6,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_7,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_8,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_9,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_10,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_11,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_12,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_13,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_14,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_15,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_16,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_17,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_18,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_19,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_20,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_21,  
                    np.fmax(tiempo_Activacion_Nada_22,
```

```

np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_23,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_24,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_25,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_26,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_27,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_28,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_29,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_30,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_31,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_32,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_33,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_34,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_35,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_36,
np. fmax(tiempo_Activacion_Nada_37,
np. fmax(tiempo_Activacion_Muy_Poco_1,
    np. fmax(tiempo_Activacion_Poco_1,
    np. fmax(tiempo_Activacion_Poco_2,
np. fmax(tiempo_Activacion_Regular_1,
np. fmax(tiempo_Activacion_Regular_2,
np. fmax(tiempo_Activacion_Regular_3,
np. fmax(tiempo_Activacion_Regular_4,
np. fmax(tiempo_Activacion_Regular_5,
np. fmax(tiempo_Activacion_Regular_6,
np. fmax(tiempo_Activacion_Mucho_1,
np. fmax(tiempo_Activacion_Mucho_1,
    np. fmax(tiempo_Activacion_Mucho_2,
np. fmax(tiempo_Activacion_Mucho_3, tiempo_Activacion_Mucho_4,)
)))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))) (10)

```

3.8.1.7. Defusificación.

El último proceso es la defusificación, el cual consiste en traducir en un lenguaje que el operador pueda interpretar, ya que la respuesta de la inferencia difusa se manifiesta en lenguaje difuso. El método requerido para este cálculo es por el centroide y se acopla con el módulo scitik fuzzy con la ecuación 11.

$$tiempo_r = fuzz.defuzz(tiempo, aggregated, 'centroide') \quad (11)$$

En esta etapa final es indispensable conseguir la salida del sistema, la cual contiene el tiempo de riego en segundos; para eso se traslada el valor resultante de la defusificación hacia su función de membresía respectiva.

3.8.2. Diagrama de bloques general del sistema inteligente.

Para ofrecer una clara perspectiva de la funcionalidad del sistema se da a conocer mediante un diagrama general la conexión entre cada parte que conforma el sistema de riego inteligente. La Figura 45 muestra la unificación de las dos zonas consideradas en este estudio.

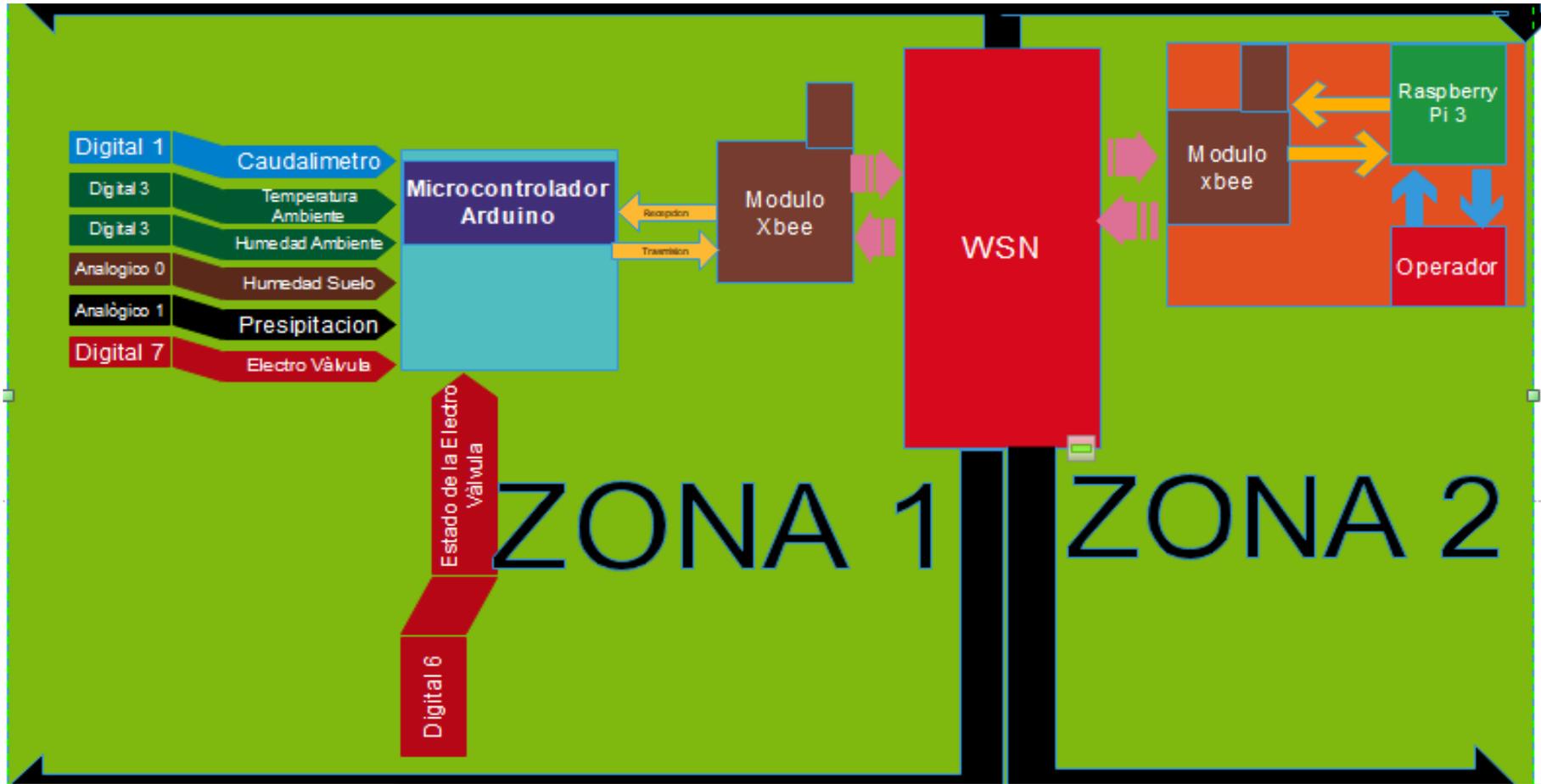


Figura 45: Diagrama de bloques general del sistema
Fuente: Elaborada por el Autor

1.8.3. Topología de la red.

El sistema de riego inteligente con lógica difusa está conformado por un red WSN definido en el protocolo IEEE 802.14, el cual manifiesta que es esencial establecer la topología de red; la topología que permite cumplir con los requerimientos funcionales de este proyecto de investigación. En base a estas definiciones la topología establecida para este investigación es básica, es de tipo estrella conformada por dos estaciones, estos son: la zona 1 como nodo sensor y la zona 2 como nodo terminal, tal y como se muestra en la Figura 46.

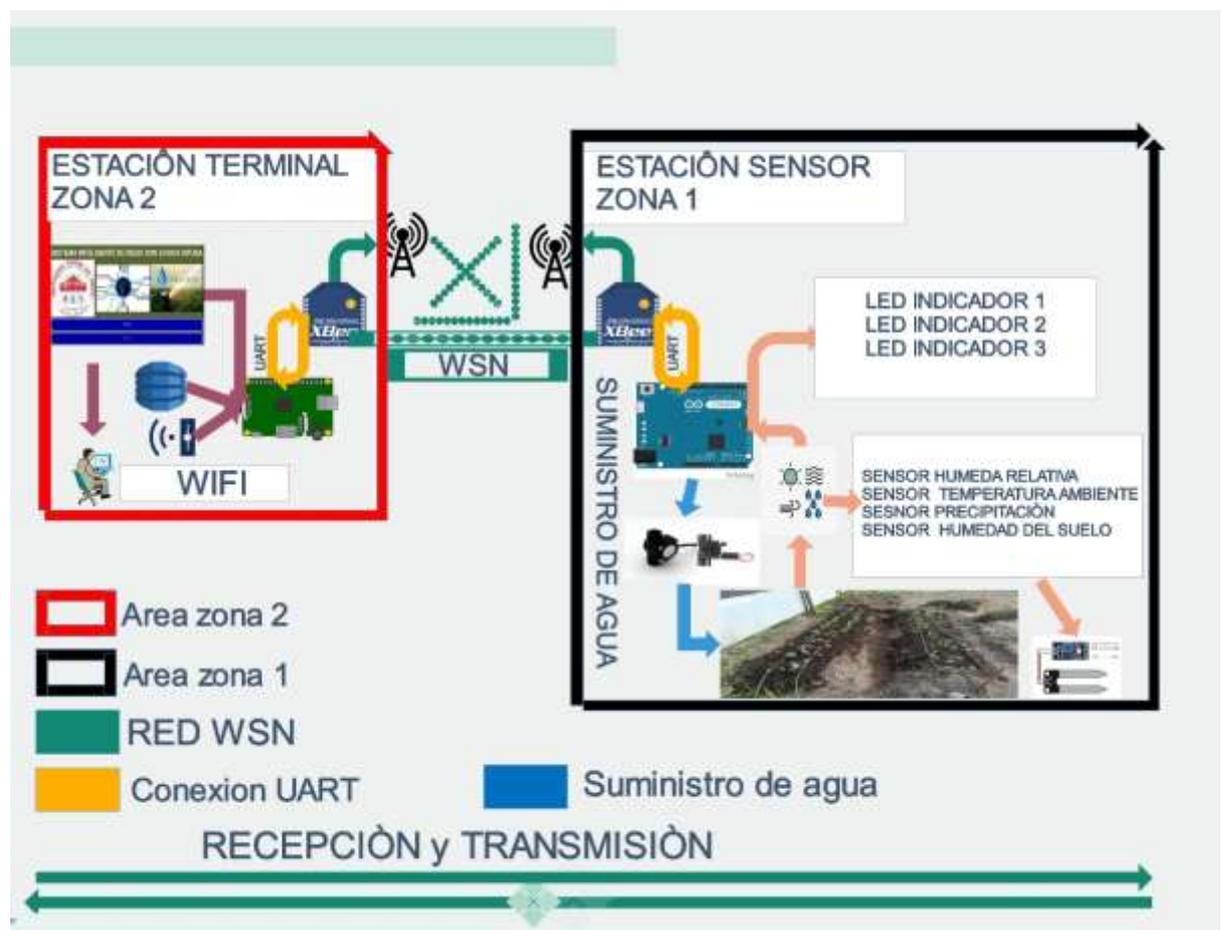


Figura 46. Topología de la red WSN del sistema de riego
Fuente: Elaborada por el Autor

1.8.4. Zona 1.

Esta sección está comprendida de las magnitudes meteorológicas que son los datos proporcionados por los sensores, una válvula solenoide contralada por un módulo relé, un módulo de comunicación XBee para transmitir y recibir los datos hacia la estación de control, la fuente de alimentación necesaria para satisfacer la energía a cada elemento que compone esta zona, el microcontrolador Arduino Leonardo quien se encarga de procesar los datos de los sensores y enviarlos de forma inalámbrica hacia estación de control.

3.8.3.1. Diagrama de bloque de la zona 1.

La Figura 47 muestra una perspectiva sobre el proceso designado a esta zona, la cual está compuesta por los siguientes factores: ubicación de las hortalizas, la electroválvula solenoide, el caudalímetro, un módulo XBee y los componentes que miden los parámetros presentes en el ambiente.

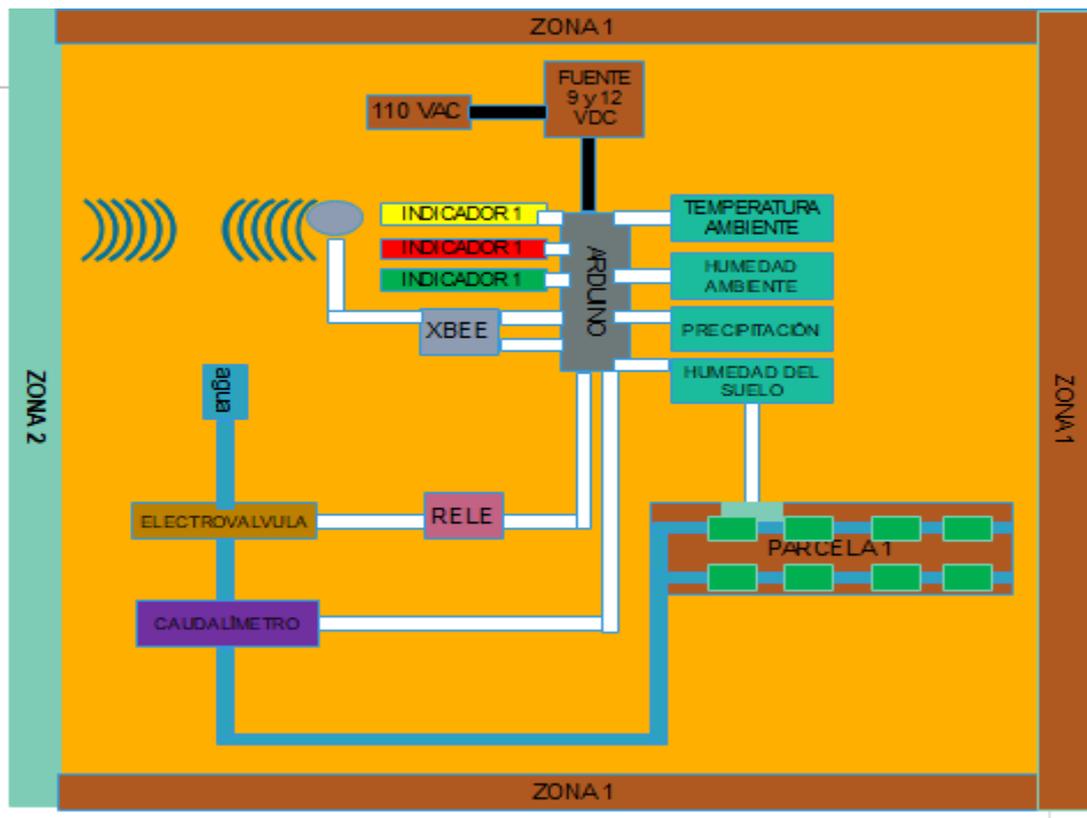


Figura 47. Diagrama de Bloque de la zona 1.

3.8.3.2. Diagrama de flujo de la zona 1.

Es necesario detallar el algoritmo de funcionamiento que se desarrolla en esta zona de manera cuidadosa, con el objetivo de determinar el inicio y fin del papel que predomina en dicha zona.

Todo empieza al alimentar al sistema eléctrico de la zona 1 con una fuente de poder, la cual se ha diseñado tomando en cuenta las necesidades de energía de cada elemento; encendido el sistema los primeros componentes en realizar acciones son los sensores, los cuales recolectan valores de magnitudes meteorológicas, tales como: temperatura (centígrados) como Humedad de Ambiente (%), “Precipitación” (0-1024), humedad del suelo (0-1024), donde el microcontrolador Arduino se encarga de almacenarlas en su memoria Ram en forma de variables y verifica que los valores se encuentren en el rango de validez de su Tabla de

especificaciones. Se determinaron que el número de variables que se van a transmitir son 5 (Temperatura Ambiente, humedad ambiente, temperatura del suelo, “Precipitación”, caudal). Se plantea el formato más apropiado para el envío de las variables medidas por el sistema de control, donde se realizaron varias pruebas que permita señalar la alternativa más idónea; el formato de esta trama contiene el siguiente análisis: cada variable se encuentra separada por caracteres adicionales, esto es importante al momento de interpretar los datos en la zona 2 como un mecanismo de control en la recepción de datos.

Este formato se organizó planteando el siguiente análisis, los datos primordiales al enviar son cinco, por lo tanto: la trama estará compuesta por cinco mensajes, los cuales se los divididos de la siguiente forma: los valores de temperatura como humedad de ambiente lo compone su magnitud en unidades de medición encerrado con los caracteres x1 y x2, por ejemplo: la Temperatura Ambiente se comportaría con la expresión “x134x2”, la humedad del ambiente “x389x4”; el mismo criterio se aplica para el resto de variables. La Tabla 48 muestra el formato de envío de los valores de las variables de los sensores en formato de mensaje.

Tabla 48
Estructura del mensaje de envío de la zona 1.

Variable	Mensaje
Humedad Ambiente	x128x2
Temperatura Ambiente	x328x4
humedad del suelo	x5789x6
“Precipitación”	x7890x8
caudal	x920x10
Trama Final	x183x2x328x4x5789x6x7890x8x9920x10

Fuente: Elaborado por el Autor

Una vez que se eligió el formato de envío de datos, es el Arduino quien comunica al módulo XBee para que inicie el proceso de comunicación entre las dos zonas mientras la

zona 2 se encarga del análisis de los datos; la zona 1 deberá esperar alguna orden que se solicite desde la zona de 2, donde la zona 1 espera el valor del tiempo de apertura de la válvula solenoide, esto es posible con el aporte de la interfaz gráfica programada que está alojada en la zona 2.

La interfaz gráfica es diseñada para diferenciar los tiempos de riego que se pueden configurar, sintetizando el envío de datos innecesarios, tan solo el valor del tiempo que es requerido por la zona 1 para activar la operación de la válvula solenoide.

Se produjeron varios inconvenientes al momento de interpretar los datos enviados por la zona de 2, los cuales para el Arduino es de suma importancia que el valor del tiempo que recibiría esté presente en un formato sencillo de interpretar; esto sucedió en los datos enviados entre el Arduino y el módulo XBee quienes comparten conexión por un puerto serial.

La intención consistía en identificar la causa del problema mediante pruebas, donde se evidencio al momento de enviar los datos entre estos dos componentes; se determinó que el valor recibido por el Arduino era interpretado en formato ASCII, por ejemplo: si el tiempo de riego que provenía de la estación 2 era de 64 minutos el Arduino lo traducía al carácter “a”; se solvento este inconveniente con la ayuda de funciones especiales en la programación del IDE de Arduino, el cual planteó la siguiente forma: el módulo XBee recibe los datos de la red, el los procesa y según su modo de operación los envía mediante el puerto serial al Arduino; al comunicarse con protocolo de comunicación serial, los datos recibidos llegan bit a bit y por ende el mensaje se interpretaba con otro valor.

El primer paso fue en determinar el formato de tiempo que será establecido por el Arduino considerando las cifras numéricas que pueden aparecer en el sistema como límite,

este formato se definió para trabajar en unidad de tiempo en segundos. Inicialmente se intentó proponer que el tiempo máximo de riego sería de una hora(60mints) que puede modificarse en base a las pruebas que se desarrollaran en el capítulo 4.

El valor del tiempo en segundos es un número de cuatro cifras, para recuperar este número fue necesario declarar cinco variables de tipo carácter con formato de vector, una para cada cifra; los datos de la comunicación serial entre el XBee y el Arduino se almacenan de forma secuencial, bit a bit, el primer vector se encarga de agrupar las variables de tipo carácter, por lo tanto, este vector es de tipo carácter, mismo que contiene el siguiente formato: {'7','2','0','0'}, posteriormente este vector se convierte en una cadena que se almacena en el segundo vector, este vector es de tipo cadena ("7200"). Finalmente, este vector se transforma a una variable de tipo entero (7200), de esta manera se recupera el valor real para que el Arduino pueda interpretar dicho valor evaluado y enviado por la zona 2.

Después de resolver la interpretación del dato el Arduino crea una variable de operación indicando que ha llegado la orden de activar la válvula solenoide, donde inicia un contador desde cero con un incremento paulatinamente de un segundo hasta cumplir el valor de tiempo que es recuperado por el mismo Arduino; cuando el contador del Arduino está en operación la válvula solenoide permanece activa y cuando el contador sobrepase el umbral del tiempo recuperado por el mismo Arduino la válvula solenoide se apaga. La variable de estado de operación del sistema de riego cambia de valor, al menos que exista otra acción generada por la zona de 2. EL proceso correspondiente por la zona 1 se muestra en la Figura 48.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ZONA 1

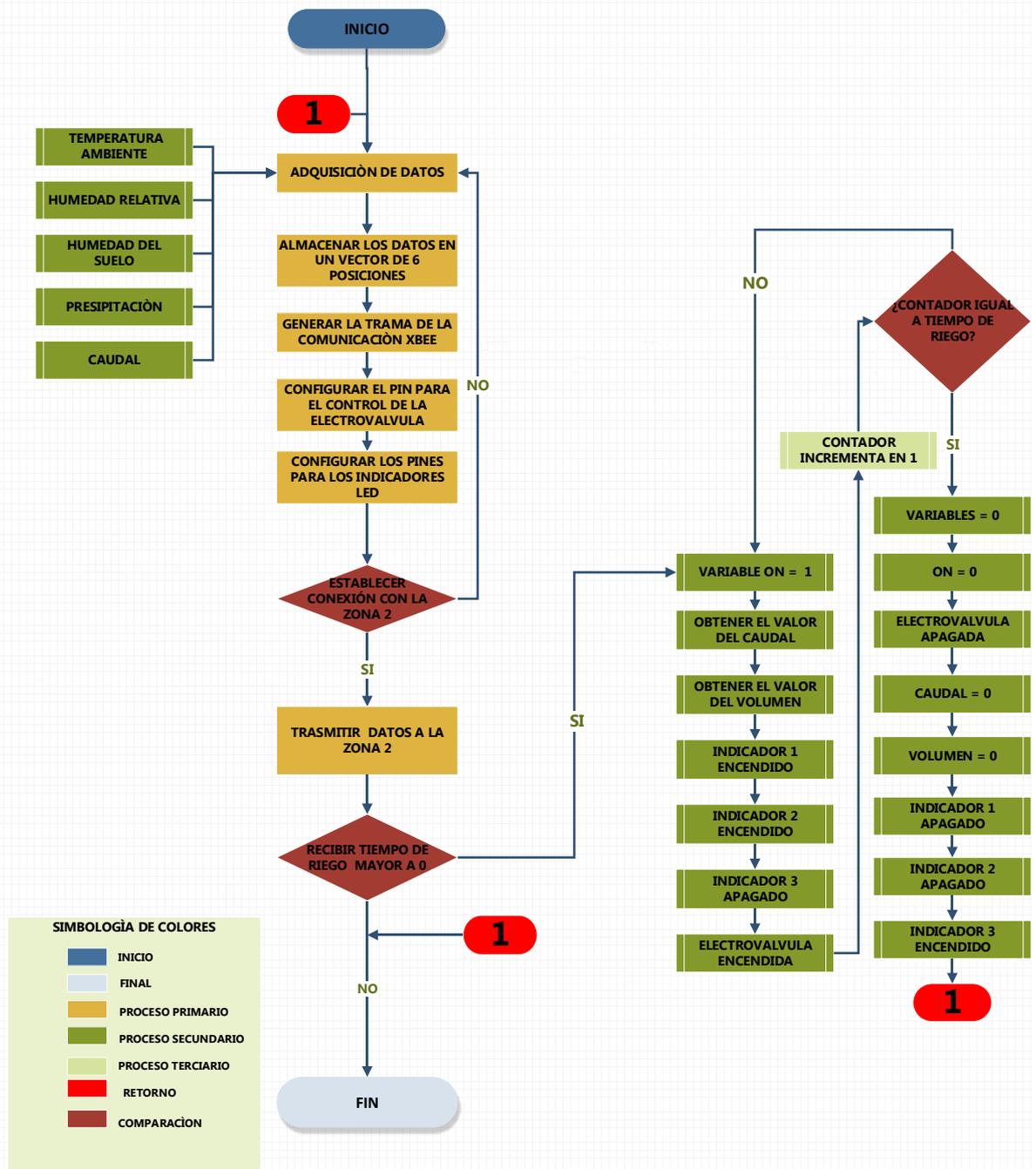


Figura 48. Diagrama de flujo de la zona 1

Fuente: Elaborada por el Autor

1.8.4.3. *Requerimientos eléctricos de la zona 1.*

El software que contribuyo en la planificación de un buen diseño eléctrico fue gracias a la herramienta Kicad, este ofrece una serie de funcionalidades extras además del diagrama del circuito impreso, es muy sencillo de utilizar, ofrece algunas ventajas, tales como: múltiples funciones que permiten desarrollar placas profesionales que manejan serigrafías estandarizadas, es de código abierto, entre otras. Esta herramienta permite crear varios archivos en un solo proyecto; la Figura 49 muestra una visualización de la placa electrónica.

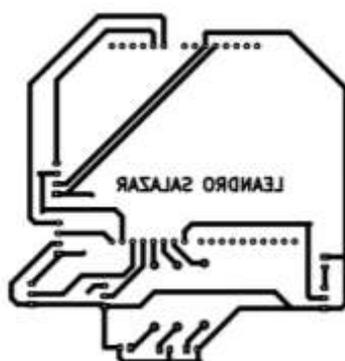


Figura 49. Diseño placa de circuito impreso en KICAD
Fuente: Elaborada por el Autor

Se establece el diseño de una placa eléctrica basadas en las necesidades de corriente de cada componente, cuyas cantidades se muestran en la Tabla 49.

Tabla 49
Requerimiento eléctrico de los componentes

Numero	Componente	Requerimiento (miliamperios)
1	DHT11	50
2	FC-28	50
3	FC-37	50
4	YF-201	50
5	Módulo relé	50
6	XBee	Mayor a 1000
7	Válvula solenoide	350
8	Arduino	850

Fuente: Elaborada por el Autor

Los pines del Arduino entregan corriente con cantidades de 100 mili-Amperios(mA) (ELECTRONIC, 2017), lo que significa que los 13 pines digitales del Arduino suman 1300 mA, esta condición es aprovechada para los requerimientos eléctricos de este prototipo. El consumo de corriente de los componentes 1,2,3,4 extraídos de la Tabla 45 suman 200 miliamperios [mA], concluyendo que el microcontrolador proporciona la energía suficiente para estos componentes.

Los componentes 5,6,7 y 8 de la Tabla 44 son considerados los de mayor consumo eléctrico, particularmente el módulo XBee por la actividad que debe desenvolver. La corriente que requieren los tres componentes es alrededor de los 2 Amperios(A) y como alternativa se consideró en diseñar una fuente independiente con las características apropiadas para estos componentes.

Aprovechando el uso de Kicad para el diseño de placas electrónicas, se puede obtener una percepción de conexión que se muestra en la Figura 50. Los materiales que se necesitaron se encuentran en el **ANEXO 6**.

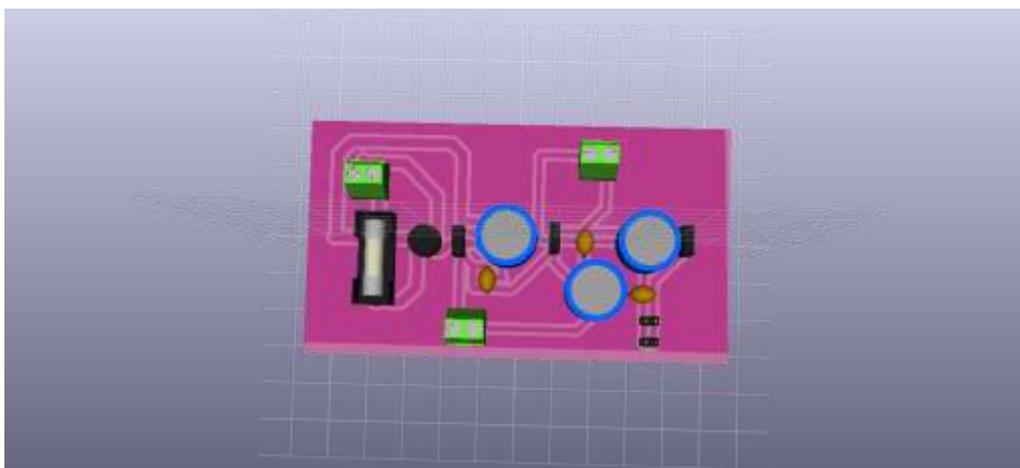


Figura 50. Esquema eléctrico de la zona 1 placa 1 en Kicad
Fuente: Elaborada por el Autor

En la estructura del diseño de esta placa se decide agregar una placa adicional que permitirá conectar el resto de los elementos de forma ordenada. La Figura 51 muestra una visualización de la placa adicional.

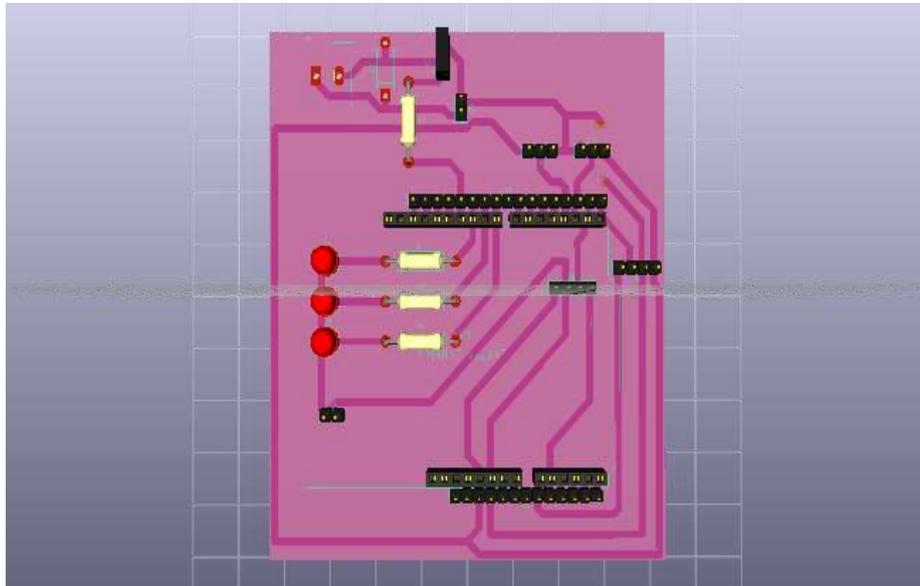


Figura 51. Esquema eléctrico de la zona 1 placa 2 en Kicad
Fuente: Elaborada por el Autor

Una diferente perspectiva de la conexión eléctrica de los componentes de la zona 1 se muestran en la Figura 52.

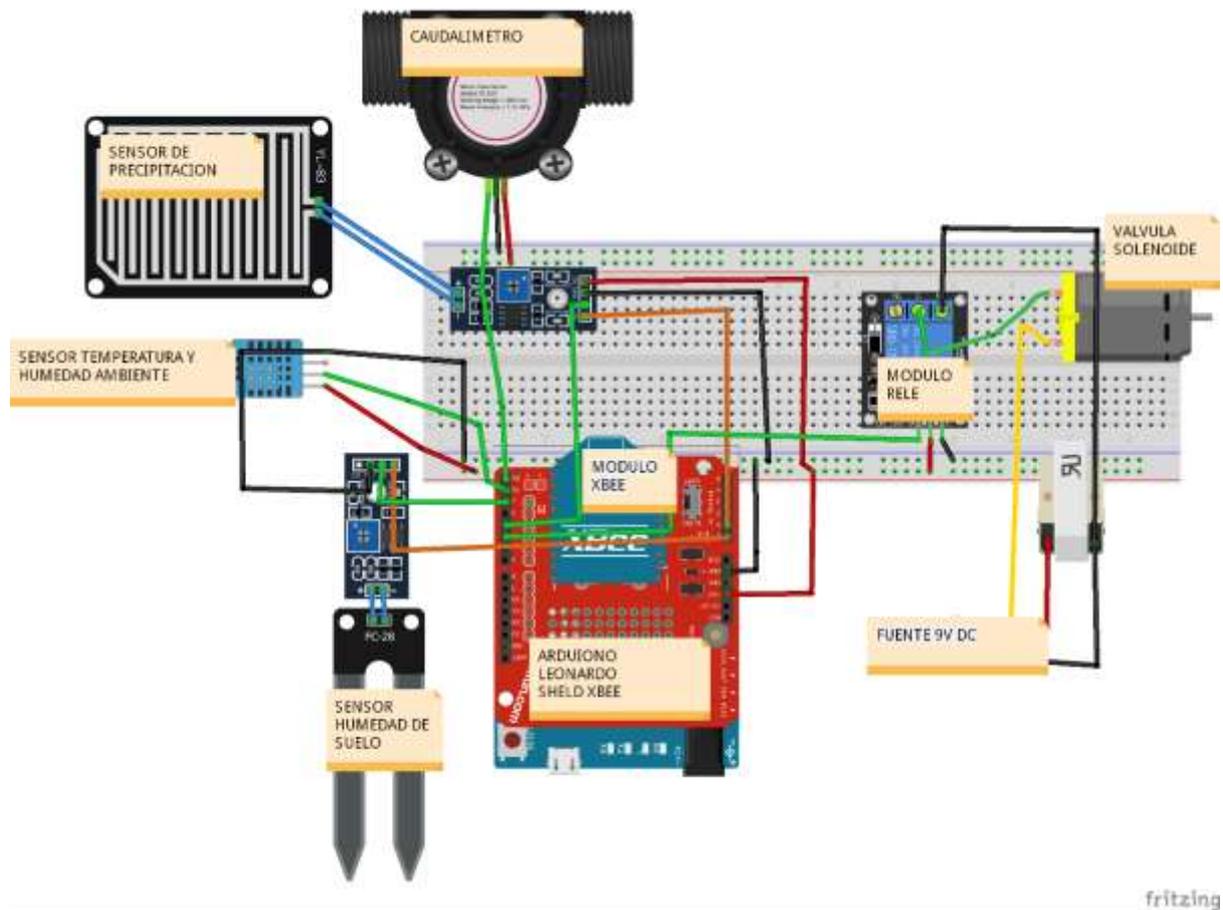


Figura 52. Esquema eléctrico de la zona 1 vista general.
Fuente: Elaborada por el Autor

3.8.4. Zona 2.

Es considerada como el área central compuesta principalmente por dos componentes, tales como: el módulo de comunicación XBee y la tarjeta raspberry pi que están conectadas a la red de sensores WSN, la cual recibe los datos que son enviados desde la zona 1 y los transforma en información propicia para el respectivo análisis con el mecanismo de controlador. Esta zona procesa los valores de las variables del sistema a nivel del usuario (del operador), los cuales serán mostrados en una interfaz gráfica alojada en la raspberry Pi 3; es responsable de enviar la orden del tiempo en la que debe efectuarse el riego.

2.8.4.1. Diagrama de bloque de la zona 2.

La Figura 53 muestra una perspectiva del funcionamiento del cual es responsable la zona 2 conformado exclusivamente por la ubicación de la zona donde se realiza la gestión de riego y se visualiza el proceso.

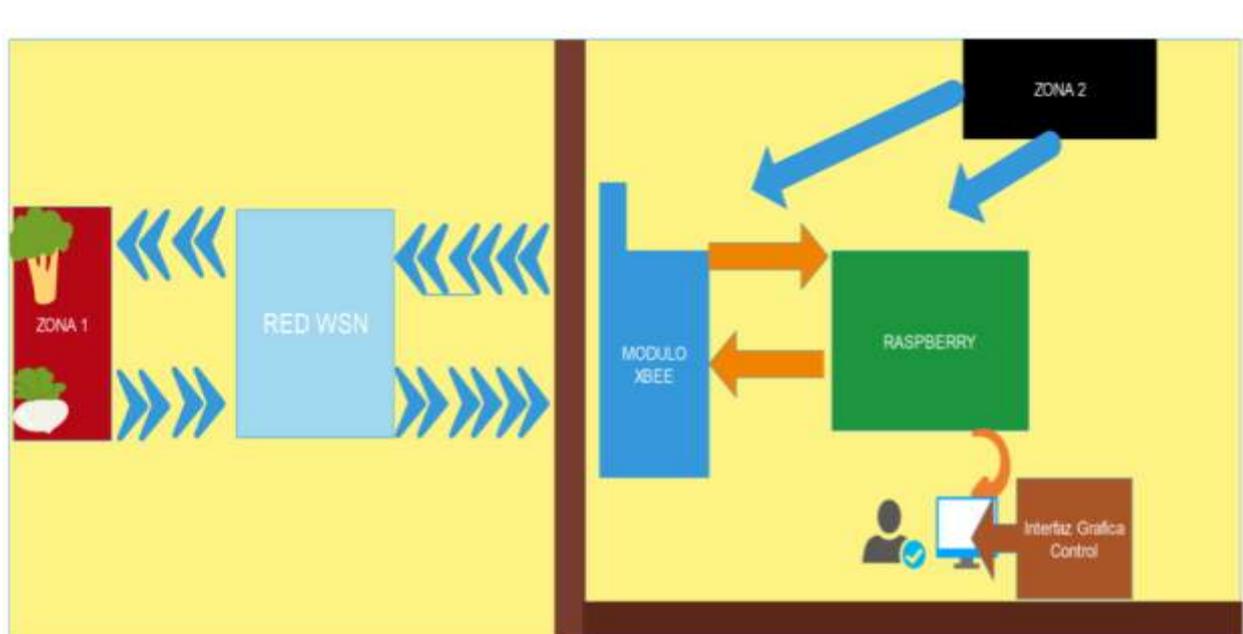


Figura 53. Diagrama de bloques de la zona 2.
Fuente: Elaborada por el Autor

2.8.4.2. Diagrama de flujo zona 2.

La zona 1 trasmite todos los valores de las variables a la red WSN, los cuales son recuperados por la zona de 2 a través del módulo XBee receptor y son enviados por un puerto serie o interfaz UART a la Raspberry PI. Se puede deducir que contiene menos elementos que la zona 1, sin embargo, esta parte del sistema es muy vital, la razón principal es por las distintas tareas que debe procesar; es quien se encarga de la gestión del sistema de riego. Para demostrar su funcionamiento se despliega paso a paso cada una de las actividades que se incluyen en esta zona.

Al recibir los datos proporcionados por la red WSN inmediatamente el módulo XBee de la zona 2 transfiere el mensaje hacia la raspberry pi, esto se logra con ayuda de un

protocolo de comunicación serial; el mensaje aborda en distintos tiempos según sea su velocidad de configuración y otras condiciones que suelen afectarle, por lo tanto, como primera etapa se plantea analizar la mejor opción que permitirá verificar datos correctos y cuáles no lo son. Al realizar las primeras pruebas de recepción se observó que los datos que le llegaron a la raspberry se alteran y sus valores eran difíciles de comprender; por otra parte, existía momentos que el mensaje no llegaba al destino.

Hay que recordar que los mensajes que se reciben están en formato de tipo mensaje, esto con la finalidad de ayudar a mejorar el proceso de extrusión de los valores reales; se inició con la observación del formato del mensaje que se presentó de la siguiente forma: “x112x2x323x4x51000x6x7560x8x91000x10”, donde en algunos casos alternaba este mensaje complicando al momento de recuperar los datos reales, muy similar al proceso que se trabaja en la zona 1, esto es debido a la comunicación serial entre la raspberry y el XBee, donde los datos llegan de carácter en carácter, estos se mezclan en el canal de comunicación y generan el problema anterior mencionado.

La mejor solución en esta situación se logró con la ayuda de algunas herramientas muy útiles que ofrece el uso del lenguaje Python; se almacena el mensaje en una variable de tipo mensaje con el nombre de cadena, esta variable contendrá todos los caracteres recibidos de la zona1, a esta cadena se le aplica el uso de funciones especiales que usa la clase cadenas de la librería de Python, buscando los caracteres asignados que recubre al valor real de cada sensor “x124x2”, siendo este el caso para el valor de Temperatura Ambiente, este formato es más simple de manipular; haciendo uso del formato de mensajes enviados por la anterior zona es suficiente para el proceso de recuperación, comparando cada mensaje como

una clave, permitiendo localizar la porción que le corresponda a cada variable de toda la cadena. La Tabla 50 muestra el proceso de obtención de las variables.

Tabla 50
Formato de recuperación de las variables en la Zona 2

Variable	Clave	Valor
CADENA = "x183x2x328x4x5789x6x7890x8x9920x10"		
Humedad ambiente	X183x2	83
Temperatura Ambiente	X328x4	28
Humedad del suelo	X5670X6	670
"Precipitación"	X7890x8	890
Caudal	X9920x10	920

Fuente: Elaborada por el Autor

Al recuperar los valores reales de los sensores se construye la aplicación agregándole modularidad con lógica difusa, esto le permitirá al operador familiarizarse con el sistema y realizar sus actividades con más tranquilidad y seguridad. Esta aplicación está basada en un framework muy potente que ha permitido crear una interfaz lo suficientemente amigable y fácil de operar.

Las dependencias que conforma todo el software fueron integradas especificando su respectiva función, tales como: Qt como herramienta que constituye la interfaz gráfica de gestión del sistema de control de riego inteligente, el software "Scikit Fuzzy" como un complemento adicional en resolver situaciones de lógica difusa y todos con la particularidad de compaginarse al lenguaje principal de Python.

Aprovechando las funcionalidades del sistema embebido de la raspberry se le agregaron las siguientes responsabilidades, tales como: recuperar los datos reales, generar la interfaz gráfica para el operador, el procesamiento de datos y toma de decisiones.

La recuperación de los datos se ha describió anteriormente, la interfaz gráfica permite ejecutar varias acciones, entre las que se pueden mencionar son: habilitar el tiempo de riego manualmente, habilitar el riego con lógica difusa de forma automatizada, visualizar los datos de los sensores y que el proceso se actualice permanentemente. Se adhiere ciertas funciones particulares que permiten obtener una mejor manejo y gestión de información.

Cada metodología requiere cumplir ciertos parámetros de configuración iniciales en la interfaz gráfica, este servirá al programador que validará algún tipo de información. A continuación, se describe paso a paso el funcionamiento de la interfaz gráfica.

La aplicación inicia con la primera ventana de Bienvenida, a su vez con un simple control de acceso al sistema, tal y como se muestra en la Figura 54.



Figura 54. Ventana inicial de la interfaz gráfica
Fuente: Elaborada por el Autor

Se visualizan los siguientes botones: el de la entrada al sistema y el de salida del mismo; al presionar un clic rápidamente indica una entrada con característica de un nivel básico de seguridad de acceso al sistema, tal y como se muestra en la Figura 55.



Figura 55. Esquema básico de ingreso al sistema
Fuente: Elaborada por el Autor

En la ventana de la Figura 55 se debe seleccionar el botón que dice adelante, donde al pulsar sobre el área de la casilla usuario y pulsar el botón adelante aparecerá una segunda ventana que se muestra en la Figura 56.

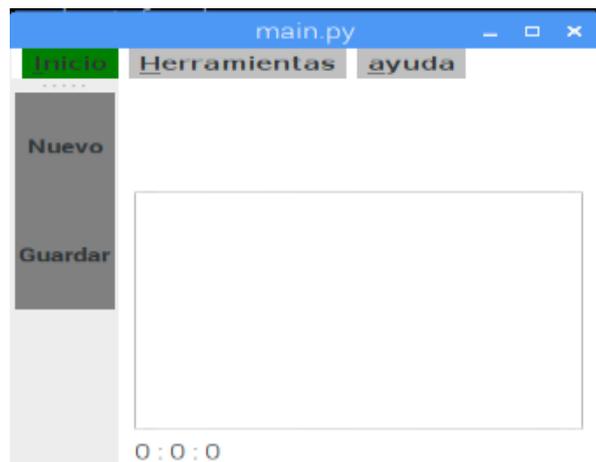


Figura 56. Segunda ventana de acceso a la interfaz gráfica
Fuente: Elaborada por el Autor

Esta segunda ventana ofrece las funciones siguientes: acceder a un manual de usuario, guardar información perteneciente a la información que procesa el sistema de riego (frecuencia de riego, variables meteorológicas, caudal) y la función principal que consiste en la configuración y administración del sistema de riego que propone dos modos de riego, tales como: de forma manual y con lógica difusa automática, tal y como se muestra en la Figura 57



Figura 57. Modo de operación con método manual y lógica difusa
Fuente: Elaborada por el Autor

La ventana de la Figura 57 se aprecia un menú interactivo, donde al dirigirse al menú de herramientas proporciona las alternativas de riego desarrolladas en esta investigación. En la siguiente sección se describe la configuración básica para los dos modos de operación de este novedoso sistema de riego.

3.8.4.3. Modo de operación manual.

La opción que se está observando en la ventana de la Figura 59 es del método manual, donde es obligatorio seleccionar todas las variables con las que se desea trabajar; el sistema cuenta con 3 sensores, por lo tanto, se decidió agregar las tres variables de los sensores a esa ventana; para terminar de configurar los parámetros visualizados en esta ventana presione el botón de terminar, tal y como se muestra en la Figura 57.



Figura 58. Configuración manual paso 1
Fuente: Elaborada por el Autor

Al cerrar la ventana de la Figura 58 aparece un nuevo botón en la pantalla principal de la aplicación que se muestra en la Figura 59.

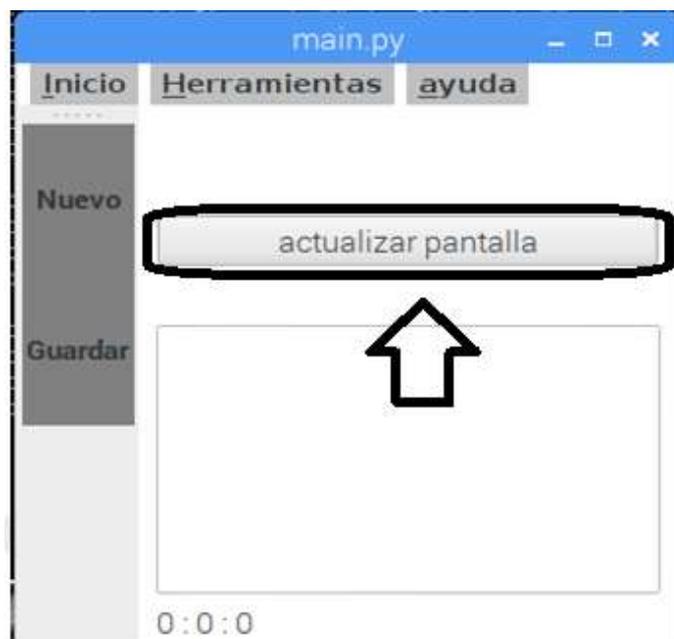


Figura 59. Configuración manual paso 2.
Fuente: Elaborada por el Autor

Al pulsar el botón de la Figura 59 actualiza los valores de configuración y se logra visualizarlos, tal y como se muestra en la Figura 60.

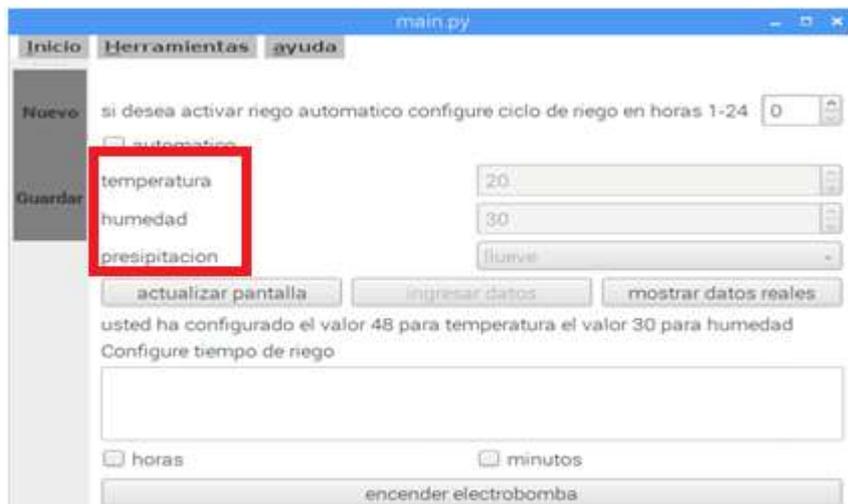


Figura 60. Configuración manual paso 3
Fuente: Elaborada por el Autor

En la Figura 61 se visualizan dos casillas juntas, las cuales pertenecen a las horas y minutos que al seleccionarlos aparecen unos espacios donde el operador debe configurar el tiempo que considere necesario para activar la válvula solenoide.

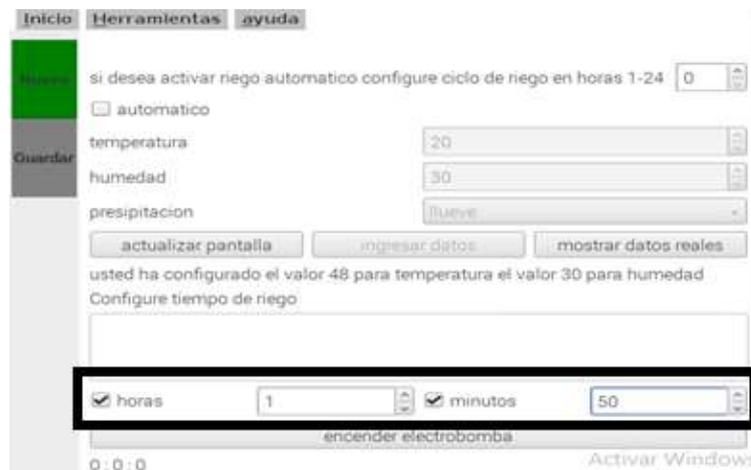


Figura 61. Configuración manual paso 4
Fuente: Elaborada por el Autor

Con los valores colocados en los campos en blanco de manera correcta visualizados en la Figura 61 se procede a presionar el botón de encender electrobomba, esto creará que la zona 2 transmita la orden de activar el riego con las configuraciones realizadas anteriormente. Finalmente, en la interfaz gráfica de la aplicación se observa el cambio que se suscita en el

campo localizado en la parte inferior del botón encender electrobomba, tal como se muestra en la Figura 62.

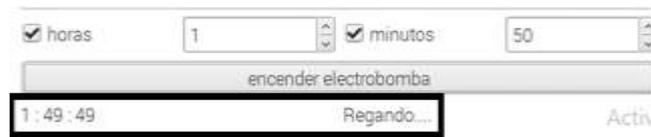


Figura 62. Evidencia del funcionamiento del sistema modo manual
Fuente: Elaborada por el Autor

3.8.4.4. Modo de operación con lógica difusa

Esta sección explica el funcionamiento del segundo método correspondiente a lógica Difusa.

Al regresar a la pantalla 3 de la Figura 57, en este caso al seleccionar la opción de metodología con lógica difusa aparece la venta de configuración para este método, tal y como se muestra en la Figura 63.



Figura 63. Configuración lógica difusa paso 1
Fuente: Elaborada por el Autor

Tiene similitud a la ventana de configuración manual, pero se debe aclarar que no tienen ninguna relación, la idea principal consiste en el funcionamiento basado en esta técnica, por lo tanto, se decidió que además de las variables que se deben seleccionar, se escoja un nivel de conocimiento, el cual está programado para que trabaje con el nivel básico de uno; este parámetro se utiliza para aumentar la precisión del sistema. Siguiendo las

recomendaciones de la teoría difusa, lo que manifiesta es lo siguiente: cuando se inicia a desarrollar sistemas con enfoque en esta temática, lo más recomendable es comenzar desde lo más básico, así que se trabajara con la opción 1, tal y como se visualiza en la Figura 64.



Figura 64 Configuración lógica difusa paso 2
Fuente: Elaborada por el Autor

Finalmente, se visualiza los parámetros que se han configurado en la ventana anterior; es necesario evidenciar los datos de todas las variables que mide el sistema, para eso pulsar el botón mostrar datos reales, el cual se muestra en la Figura 65.

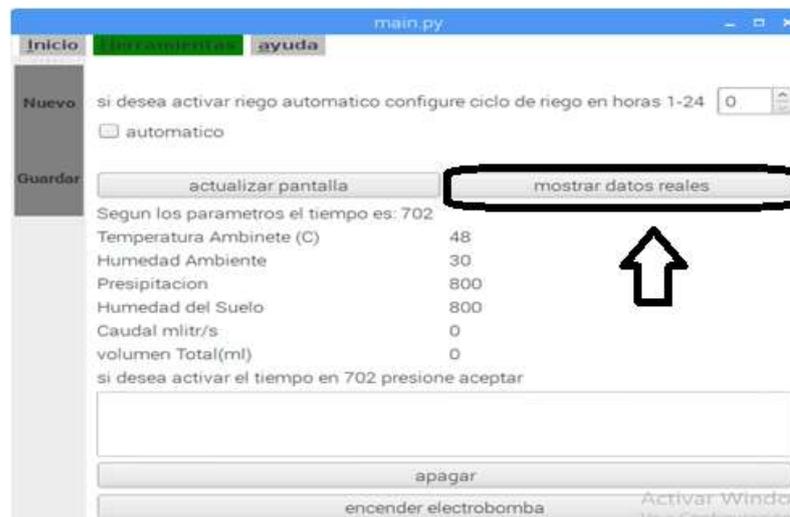


Figura 65. Configuración lógica difusa paso 3
Fuente: Elaborada por el Autor

En esta ocasión es indispensable mencionar el propósito de esta nueva propuesta, al presionar el botón aceptar de la ventana en la Figura 65 la lógica de programación con el uso

del módulo de “Scikit Fuzzy” determina el tiempo que los cultivos necesitan y para poder realizar este cálculo extrae los valores de los sensores que son visualizados en la aplicación

Para complementar esta operación se agrega el funcionamiento automático perteneciente a la técnica de control difuso, esto que significa: que el sistema supervisara constantemente las variables de trabajo, como también en realizar un análisis y decidir por si solo la orden de enviar el tiempo de activación de la válvula solenoide lo que lo hace un sistema independiente. En el **ANEXO 8** se facilita un manual de usuario con más detalles acerca de la configuración de la interfaz gráfica de este sistema. La Figura 66 muestra un diagrama de flujo de las actividades desempeñadas por parte de la zona 2.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ZONA 2

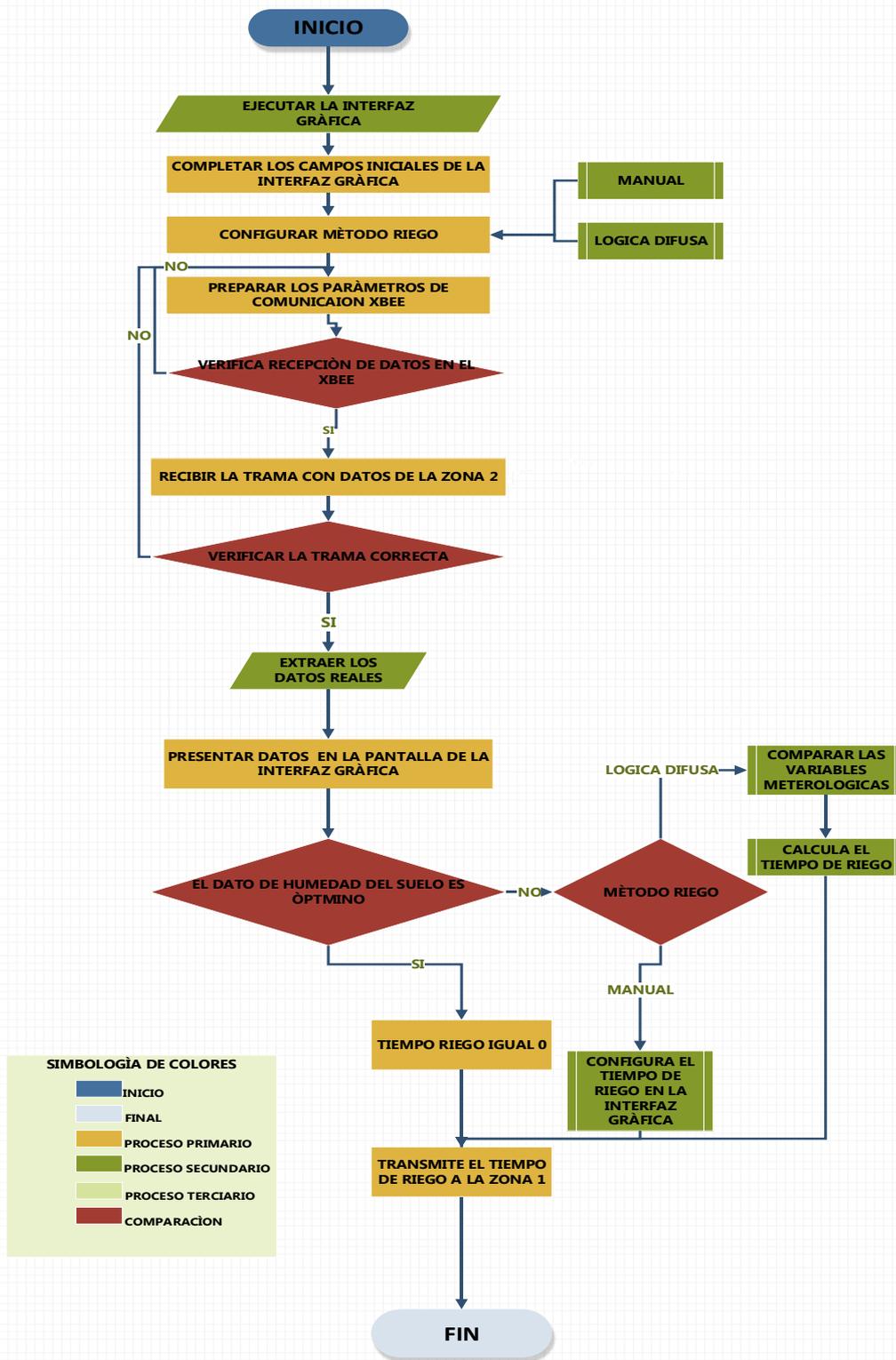


Figura 66. Diagrama de flujo de la zona 2
Fuente: Elaborada por el Autor

3.8.5.2. Requerimientos eléctricos zona 2

Por uno de los puertos USB de la raspberry Pi 3 permite el suministro de energía eléctrica al módulo XBEE y el shield, cuya ventaja se obtiene al aprovechar la polarización del módulo USB-UART requerido para la comunicación serial entre la raspberry Pi 3 y el módulo Xbee. La fuente que alimenta a la raspberry Pi 3 es mediante un cargador que cumple con las especificaciones técnicas descritas en la Tabla 41. La Figura 67 muestra una visualización de la conexión de los componentes de esta zona.

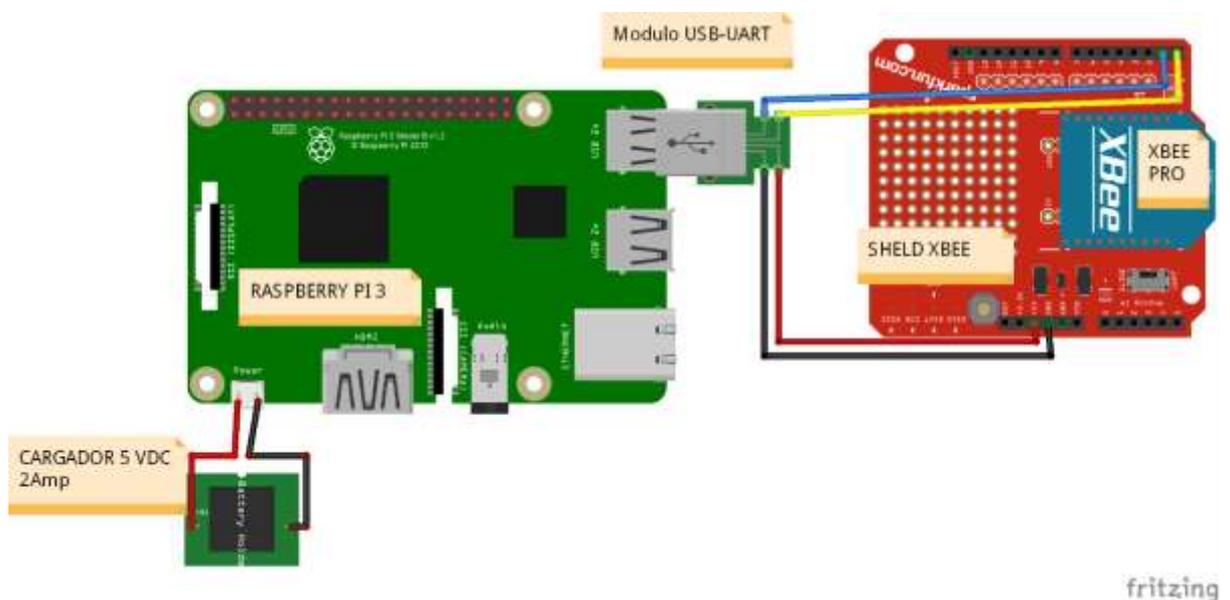


Figura 67. Diagrama de conexión eléctrico de la zona 2
Fuente: Elaborada por el Autor

CAPITULO 4

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Este capítulo describe el proceso para la realización de las pruebas de funcionamiento, incluyendo las instrucciones determinantes que influyen en el perfeccionamiento del control de riego con lógica difusa fundamentadas en los alcances planteados.

Fue necesario elaborar dos tipos de escenarios de pruebas considerando la siguiente observación:

- El primer escenario fue desarrollado con el propósito de detectar irregularidades que afecten al rendimiento del sistema inteligente.
- El segundo escenario en coordinación con el personal involucrado en esta investigación se debatió acerca de una manera que permite evidenciar claramente el comportamiento de esta nueva propuesta de riego, donde se estableció que el mecanismo más idóneo para diferenciar su operación es mediante un análisis de comparación con otra técnica de riego, por lo tanto, se procedió a la instalación de dos técnicas de riego en diferentes áreas de cultivo; el primer cultivo con el sistema de control difuso y el segundo cultivo es de forma manual por goteo apoyado de un técnico agricultor.

En los dos escenarios se emplea el mismo procedimiento de instalación y ubicación de los componentes, donde es preciso describir las instrucciones una sola vez, sin embargo, es sustancial especificar las etapas enmarcadas por cada escenario.

4.1. Instalación y ubicación de los componentes.

Inicialmente se procede en adecuar el lugar donde se instalará el sistema de riego, se definió el área de evaluación en un espacio en el interior de un invernadero donde es imprescindible cumplir las siguientes condiciones: alimentación a la red eléctrica 110 Voltios AC, proporcionar seguridad física a los equipos para evitar alguna negligencia de robo y finalmente el acceso a la fuente de agua que constituye el recurso de control en el sistema de riego inteligente. La Figura 68 muestra tres componentes de la zona 2 del riego con lógica difusa, un punto de red eléctrica 110 voltios AD, la fuente de alimentación eléctrica, el microcontrolador Arduino Leonardo, el módulo Xbee con el sheld y los componentes que miden las magnitudes meteorológicas.

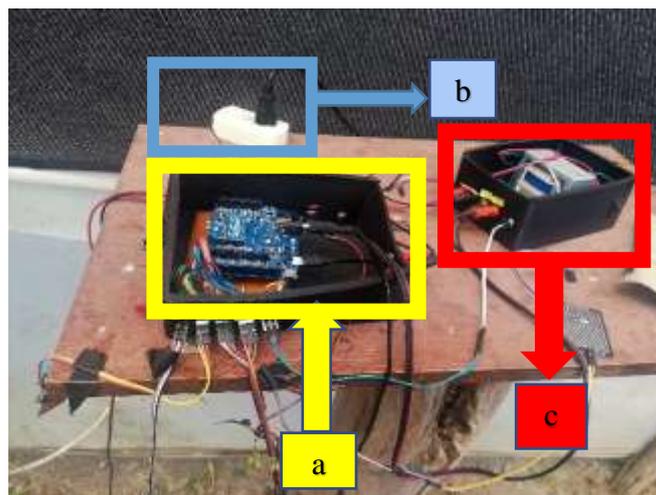


Figura 68: a) Arduino y Xbee; b) tomacorriente 110 VAC;c)fuente electrica 12 VDC
Fuente: Elaborada por el Autor

La Figura 69 muestra la fuente de agua requerida para las pruebas de funcionamiento, cuya estructura está conformada por tres llaves de paso y un filtro que bloquea el fluido de residuos innecesarios presentes en el agua.



Figura 69: a) Fuente de agua del sistema de riego con lógica difusa
Fuente: Elaborada por el Autor

La Figura 70 muestra la unificación de la Figura 68 y 69, donde la sección a es la fuente de agua y la sección b representa los componentes electrónicos de la zona 1.

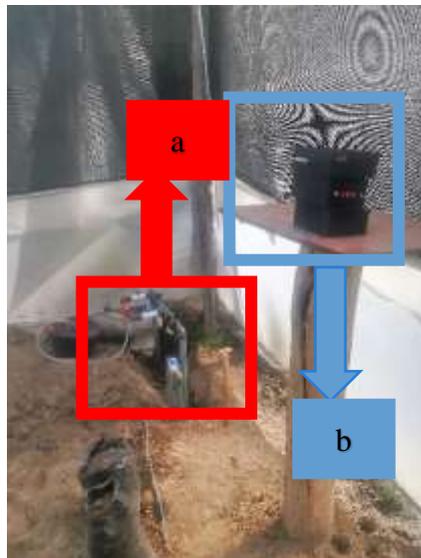


Figura 70: a) fuente de agua; b) fuente eléctrica, Arduino, Xbee
Fuente: Elaborada por el Autor

4.2. Escenarios de Prueba.

Los motivos de disponer dos escenarios fueron definidos en la introducción de este capítulo, el primer escenario con enfoque en depurar el desempeño del sistema inteligente con lógica difusa y el segundo escenario dedicado al análisis del consumo de agua empleado por las técnicas de riego con lógica difusa, y manual por goteo.

En la preparación de estos escenarios se consideró especificar de forma individual los siguientes parámetros: cultivo de hortalizas, la fuente de agua, tiempo o frecuencia de riego y su operación, los cuales se manifiestan en la siguiente sección.

4.2.1. Primer Escenario

En este escenario se incluye el proceso de cultivos de hortalizas, fuente de agua, tiempo y frecuencia de riego, y operación que se describen en la siguiente sección.

4.2.1.1. Cultivo de hortalizas.

Con ayuda del técnico agricultor se procedió a colocar las hortalizas como: zanahoria, remolacha, lechuga, en una parcela con dimensiones de 8x1 metros²; cuya distribución se conforma de dos hileras y con una separación entre el mismo tipo de hortalizas de 15, 20 y 30 centímetros respectivamente. La Figura 71 muestra una visualización de la preparación de la parcela.



Figura 71. Preparación de la parcela para las hortalizas
Fuente: Elaborada por el Autor

En la Figura 72 se logra observar la manguera de riego por goteo y la superficie de la parcela que ha sido regada por varios minutos, donde es preciso regar hasta que la humedad del suelo recubra toda la parcela y esté en condiciones aptas para el cultivo.

Una vez verificado que la superficie de toda la parcela este húmeda se procede al cultivo de cada hortaliza respetando las distancias apropiadas, donde es importante realizar con cautela para evitar que la planta sufra alguna imperfección o daño. Este proceso se muestra en la Figura 72 y cuya apreciación más notoria les corresponde a las remolachas.



Figura 72. Hortalizas cultivadas en la parcela.
Fuente: Elaborada por el Autor

Culminado todos los requisitos necesarios para el funcionamiento del sistema de riego inteligente se procede a realizar la activación; para conseguir una simple supervisión sobre su funcionamiento durante el periodo de evaluación se decidió acudir al lugar donde opera el sistema riego las veces que el autor crea conveniente, considerando una de las ventajas de este nuevo sistema es ofrecer un acceso remoto al equipo, ya que parte de él constituye conexión a Internet, donde gracias a la ayuda de alguna herramienta (Team Viewer, Anydesk) permite administrar al equipo desde cualquier lugar de trabajo.

El proceso de activación o configuración del sistema es muy simple, se ha diseñado con la finalidad de evitar alguna incomodidad del personal destinado que lo use, de esta forma se pretende optimizar el tiempo en actividad o desempeño que manipulación.

La técnica de configuración está incluida en la aplicación similar a un manual de uso; el principio de funcionamiento depende de la metodología seleccionada (manual o lógica difusa), donde los datos se evidencian en la interfaz gráfica, tal y como se muestra en la Figura 73.

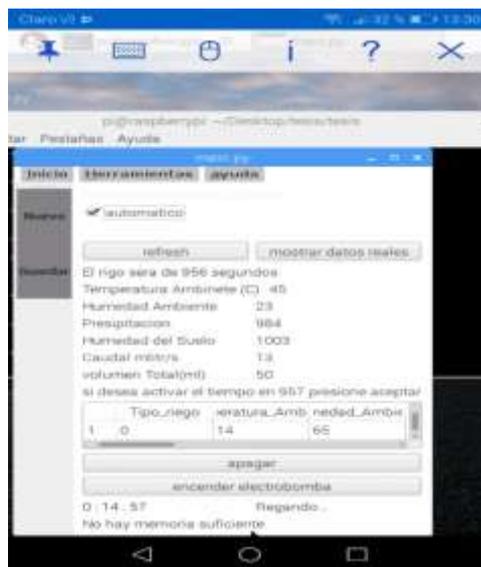


Figura 73. Visualización de los datos en la interfaz grafica
Fuente: Elaborada por el Autor

4.2.1.2. Fuente de agua

La fuente de agua es el recurso que será controlado por la electroválvula solenoide que cumple con las dimensiones requeridas para este prototipo, sin embargo, es necesario describir las dimensiones presentes en el entorno de riego del invernadero. La Tabla 51 muestra las características de la fuente de agua.

Tabla 51
Características de la fuente de agua

Características	Detalle
Técnica de uso	Riego por goteo
Numero de llaves disponibles	9
Dimensiones de cada llave	1 pulgada
Apertura de las llaves	Manual
Caudal Máximo por llave (litros/segundo)	0.84

Fuente: Elaborada por el Autor

Para establecer el uso de la fuente de agua para el control con lógica difusa se determinó la instalación en una de las llaves disponibles del sistema de riego manual que aún no está operativo en el invernadero.

4.2.1.3. Tiempo y frecuencia de riego.

El tiempo consiste en la respuesta calculada por el controlador difuso del sistema con los valores presentes en esos instantes; en este escenario el valor de tiempo en términos difusos que se emplea es de 0 a 1 hora que puede cambiar a causa de la variación en las magnitudes de los factores ambientales.

La frecuencia de riego es diferente al tiempo de riego mencionado anteriormente, se caracteriza por el tiempo que el sistema difuso requiere para la toma de decisión de regar o no, es decir, si la frecuencia de riego configurada es 1 hora resulta que al día se provocan 24 decisiones generadas por el sistema, esta cantidad involucra un cierto nivel de esfuerzo computacional para el equipo, por lo que es necesario analizar este campo con precaución.

Por motivos de registrar la mayor información posible en la base de datos, se decidió que en este escenario la frecuencia de riego sea de una hora.

La elaboración de este escenario fue direccionada al funcionamiento del sistema; demostrar si el tiempo de riego es calculado utilizando lógica difusa al variar los valores de las variables durante el periodo de evaluación de este escenario.

4.2.1.4. Operación.

Tomar en consideración los siguientes aspectos: el sistema de riego inteligente con lógica difusa está diseñado para actuar frente a cambios que se den en algunas de sus variables afectadas por el pasar del tiempo, por lo tanto, fue necesario establecer dos tiempos. El primer tiempo corresponde al tiempo en concepto difuso con una variación de 1 a 60 minutos, acorde a las condiciones presentes al momento de decidir el tiempo de riego; el segundo tiempo corresponde al tiempo donde el sistema toma la decisión de regar o no.

El segundo tiempo no debe afectar al primer tiempo, por lo tanto, existe una condición que ayude a evitar que estos tiempos se solapen con el propósito desorientar al sistema en la generación de estos tiempos; el tiempo de decisión debe ser siempre mayor al tiempo en concepto difuso; para comprender esta condición se consideró el siguiente caso: el tiempo en términos difusos su máximo valor puede alcanzar es 60 minutos asumiendo el suceso de la siguiente regla: si la Temperatura Ambiente es muy abrigada y humedad del ambiente es poca presencia y Precipitación es Ausente Y Humedad Suelo es Muy Seca entonces el tiempo de riego es Mucho el cual correspondería a 57 minutos como cantidad calculado en Matlab, si se asigna al tiempo de decisión con un valor de 30 minutos la respuesta de 57 minutos no culminaría como supuestamente debe cumplirse, solo se haría los 30 minutos que le corresponde al tiempo de decisión, además aumenta la capacidad de procesamiento; para

eliminar ese inconveniente es muy simple el análisis, si la respuesta del sistema al tiempo de riego es 57 minutos lo más aconsejable para asignar el tiempo de decisión es incrementar a la siguiente decena en esa misma unidad de tiempo, en esta caso resultaría de 60 minutos.

Finalmente, las decisiones de riego producto del funcionamiento del sistema con lógica difusa se almacenan en una base de datos. Aprovechando los registros de la base de datos se procede a trabajar en el análisis de operación del sistema; para interpretar la información la mejor alternativa fue plantear Tablas por un periodo estimado de tiempo, tal y como evolucione el cultivo. Se generaron tres Tablas correspondientes a tres periodos distintos de tiempo. La Tabla 52 muestra los periodos considerados para el análisis del primer escenario.

Tabla 52
Periodos del primer escenario

Periodo	Duración de cada periodo (días)
1	4
2	4
3	6

Fuente: Elaborado por el Autor

El primer periodo según la Tabla 52 es cuatro días y la Tabla 53 contiene los datos pertenecientes a este periodo.

Tabla 53
Registro de la base de datos del primer periodo

N	“Precipitación ” (0-1024)	HA(%) (0-100)	TA© (0-1024)	HS	Vol(ml)	Tiempo segundos	Hora	dia
1	980	38	20	716	X	1709	14:39	1
2	957	43	18	790	X	1958	15:17	
3	489	67	24	424	X	0	22:46	
4	494	68	18	480	X	0	1:46	2
5	491	70	19	416	X	0	4:46	
6	487	32	30	471	X	0	7:46	
7	492	38	27	1008	X	0	10:46	
8	492	35	22	697	X	0	15:36	3
9	664	39	17	709	X	1760	18:36	
10	511	41	17	745	X	0	21:36	

11	331	44	16	465	X	0	0:36	4
12	307	43	16	467	X	0	3:36	
13	316	45	16	468	X	0	6:36	
14	447	30	32	449	X	0	9:36	
15	465	23	46	444	X	0	12:11	
16	371	26	33	487	X	0	15:11	
17	519	38	17	461	X	0	18:11	
18	367	39	16	527	X	0	21:11	

El registro 1 de la Tabla 53 señala los siguientes datos: Precipitación con 980, Humedad del Ambiente con 38, Temperatura Ambiente con 20 y humedad del suelo con 716; con ayuda de Matlab se observa el resultado aproximado, posteriormente se compara con el resultado evaluado por el prototipo. EL valor calculado en Matlab se muestra en la Figura 74.

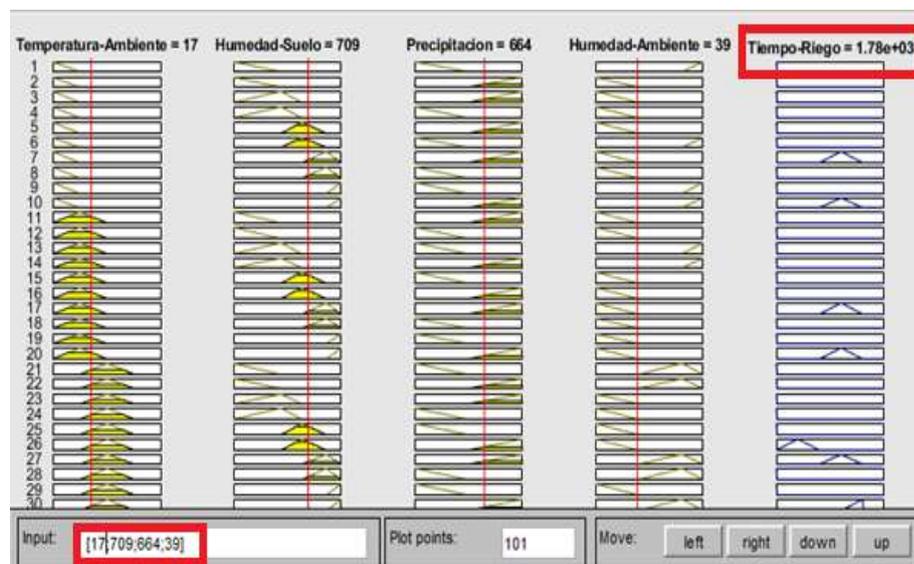


Figura 74. Tiempo de riego calculado con Matlab
Fuente: Elaborada por el Autor

La Figura 74 muestra que el resultado en Matlab es 1780 segundos y el valor calculado por el sistema de riego es 1707 indicando un mínimo desnivel de 71 segundos cuyo valor es despreciable.

Se demostró que el tiempo de riego bajo esas condiciones meteorológicas resulto 1709 segundos, esto es simple deducir, ya que en ámbito de lógica difusa se asume que el sensor de

Precipitación detecto ausencia de lluvia al ser un valor mayor a 800, el valor de Temperatura Ambiente es Frio al medir 20, el valor de humedad del ambiente del ambiente es Muy Poca Ausencia al medir 38 y la humedad del suelo es Seco al medir 716, entonces el tiempo podría ser Muy Poco, donde el valor real se localiza en 1709.

El registro 18 de la Tabla 53 manifiesta el cuarto día perteneciente al primer periodo desde el inicio de operación del sistema de riego inteligente; a pesar del poco tiempo y con la información de la Tabla 53 se puede asumir el siguiente análisis: verificar si el sistema está respondiendo a su trabajo acorde a los valores de las variables del sistema, el cual es en tiempo real, esto significa comprobar la autenticidad de los datos registrados que fueron utilizados para el cálculo del tiempo de riego requerido por el sistema. Es esencial mencionar que el dato volumen aún no ha sido validado hasta este periodo, donde el análisis corresponderá más adelante, ya que el enfoque principal es la comprobación del valor del tiempo de riego.

Conforme los valores de las variables se modifican se aprecia que el tiempo que debe regar sufre un igual cambio, cumpliendo con una de las ventajas que proporciona un sistema inteligente, al actuar frente a cambios que suelen presentarse repentinamente.

En el segundo periodo en algunos registros aparece el valor de tiempo de riego de cero, ya que la regla donde la “Precipitación” está presente se cumple, donde el valor de la variable “Precipitación” mide valores menores a 550. La Tabla 54 muestra la base de datos del segundo periodo.

Tabla 54*Registro de la base de datos del segundo periodo.*

Nro	“Precipitación” (0-1024)	HA(%)	TA(C)	HS	Volumen mililitros	Tiempo segundos	Hora (dia)	Día
1	332	41	17	538	0	0	3:11	1
2	357	44	17	545	0	0	6:11	
3	561	29	33	680	0	0	9:11	
4	473	40	16	805	0	0	20:32	
5	542	33	26	798	0	1812	13:54	2
6	651	32	30	798	0	1799	17:08	
7	727	39	15	789	0	1799	19:52	
8	716	39	15	828	0	1839	20:42	
9	647	39	15	698	0	1739	23:44	
10	735	40	15	762	0	1739	2:44	3
11	762	40	15	735	0	1739	5:44	
12	598	34	24	779	54000	1739	8:44	
13	588	34	24	822	54000	1831	11:40	
14	605	35	21	842	55000	1838	14:40	
15	627	38	16	829	57000	1898	17:40	
16	671	39	15	774	54000	1739	20:40	
17	614	39	15	711	54000	1739	23:40	
18	629	41	14	722	54000	1739	2:44	4
19	698	41	13	719	54000	1739	5:44	
20	591	32	28	746	54000	1833	8:44	

Fuente: Elaborada por el Autor

De los registros de la Tabla 54 se observa el siguiente resultado: el tiempo de riego de respuesta es correcto acorde a los valores de las variables; como nuevo acontecimiento presente es el registro del consumo de agua en cada decisión que tomó el sistema inteligente, donde el evento sucedió al inicio de la mitad del segundo periodo (registro 12 al 20 de la Tabla 54), mismo que es interpretado con el siguiente análisis: el consumo de agua es la suma de los registros de la Tabla 54 que inicia del registro 12 hasta el registro 20 con un total de 490000 mililitros de agua que transformado en litros es 490. La siguiente cantidad de consumo de agua fue evaluada en el tercer periodo correspondiente a 6 días. La Tabla 53 muestra los cambios sucedidos en el tercer periodo.

Tabla 55*Registro de la base de datos del tercer periodo*

Nro	Precipitación (0-1024)	HA(%)	TA(C)	HS	Vol(ml)	Tiempo(s)	Hora (día)	Día
1	592	23	45	820	68000	2284	11:44	1
2	491	39	16	795	0	0	22:57	
3	639	39	16	680	46000	1547	1:57	2
4	441	39	15	680	0	0	4:57	
5	519	36	20	647	26000	899	7:57	
6	548	25	41	722	67000	2265	10:57	
7	535	28	35	795	54000	1809	13:57	
8	608	37	18	812	54000	1799	16:57	
9	477	39	16	695	0	0	19:57	
10	624	36	16	638	27000	899	22:57	
11	406	39	15	658	0	0	1:57	3
12	554	40	14	603	27000	899	4:57	
13	508	38	18	616	0	0	7:57	
14	562	24	43	682	67000	2271	10:57	
15	554	34	23	831	53000	1799	13:57	
16	649	37	18	887	81000	2702	16:57	
17	599	38	16	790	53000	1799	19:57	
18	606	39	15	851	58000	1953	22:57	
19	523	39	15	808	54000	1799	1:57	4
20	440	40	14	740	0	0	4:57	
21	579	28	35	732	52000	1799	7:57	
22	666	28	35	950	83000	2765	10:57	
23	648	36	28	945	81000	2757	13:57	
24	652	35	21	940	81000	2744	16:57	
25	620	38	16	914	82000	2737	19:57	
26	581	38	16	912	82000	2749	22:57	
27	559	40	14	918	80000	2719	1:57	5
28	535	12	41	924	80000	2699	4:57	
29	676	34	24	956	83000	2769	7:57	
30	637	25	42	985	83000	2793	10:57	
31	636	27	38	979	78000	2752	13:57	
32	657	37	18	956	82000	2761	16:57	
33	678	38	16	933	83000	2770	19:57	
34	691	39	14	926	82000	2736	22:57	
35	649	39	14	939	82000	2736	1:57	6
36	617	39	14	931	82000	2736	4:57	

Fuente: Elaborada por el Autor

La información de la Tabla 55 muestra el siguiente resultado: el consumo de agua del tercer periodo sin interrupción del sistema y sumados con los registros correspondientes es

1929000 mililitros que aproximando a litros es 1929, donde sumados a la cantidad de la Tabla 53 se obtiene un total de 2419 litros vinculados al segundo y tercer periodo.

Con el análisis de lo acontecido durante los tres periodos de evolución de hortalizas se evidencia el correcto funcionamiento del sistema de riego con lógica difusa, cuyo respaldo proviene de la información contenida en la base de datos, por tal razón, ya no se consideró el tiempo que involucra la culminación de producción de los cultivos. En el **ANEXO 11** se indica la base de datos perteneciente al primer escenario.

El siguiente proceso es comprobar mediante la observación sobre la evolución de las hortalizas durante varios periodos de tiempo; la diferencia de tiempo en cada periodo fue necesario extenderla, ya que se requiere identificar cambios concretos, tales como: el tamaño, la calidad, colorido de sus hojas y otros. La Tabla 56 muestra las características del ciclo de evolución de las hortalizas del primer escenario.

Tabla 56

Ciclo de evolución de las hortalizas primer escenario

Periodo	Duración de cada periodo (días)	Ciclo de evolución hortalizas
1	7	Inicial
2	14	Media
3	35	Media
4	5	Final

Fuente: Elaborada por el Autor

La Figura 75 muestra las características de las hortalizas en el primer periodo, donde la sección a representa el contorno de la superficie de la parcela y la sección b a tres hortalizas(remolachas).

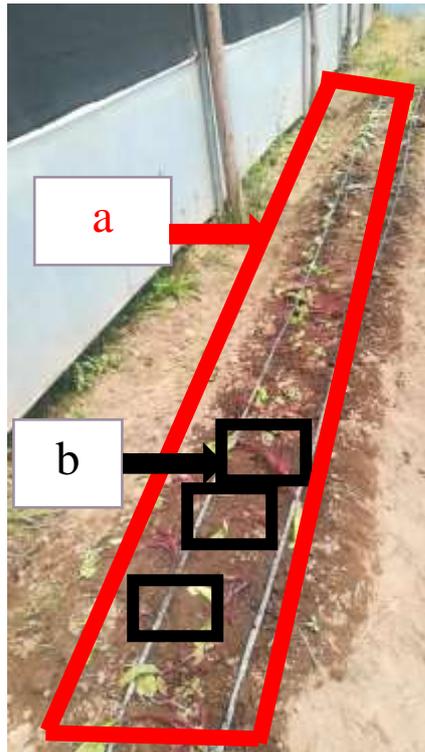


Figura 75. Hortalizas en el primer periodo; a) Contorno de la superficie de la parcela; b) tres remolachas
Fuente: Elaborada por el Autor

En la Figura 75 se evidencia un suelo parcialmente húmedo, donde las hortalizas han adquirido su propio espacio y logran sostenerse fijamente; en esta observación no se ejecutó el riego, pero al mostrar el suelo cierta humedad, se asume que el agua ocupó una fluidez normal.

La Figura 76 muestra las hortalizas al finalizar el segundo periodo del sistema de riego con lógica difusa.

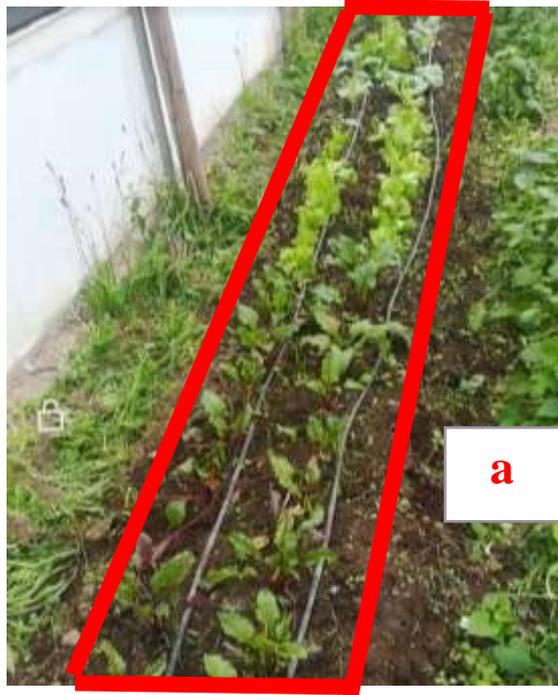


Figura 76. Hortalizas en el segundo periodo; a) Perfil de la parcela de hortalizas
Fuente: Elaborada por el Autor

En la Figura 76 es posible apreciar un crecimiento notable y exitoso de las hortalizas, tanto en lechuga como en la col donde la condición del suelo es muy húmeda deduciendo que el último riego aconteció hace pocos minutos.

La Figura 77 muestra las hortalizas en el tercer periodo del sistema de riego con lógica difusa.



Figura 77. hortalizas en el tercer periodo
Fuente: Elaborado por el Autor

En la Figura 77 los cultivos de hortalizas se encuentran rodeados de bastante maleza, adicionalmente se aprecia una resequeidad en alguna de las hojas sobre algunas hortalizas, la razón es clara, ya que no se asistió al sitio varios días a supervisar el lugar, además el sistema inteligente registra que durante tres de esos días a pesar de calcular el tiempo de riego este no se ejecutó, posiblemente a causa de la disponibilidad sobre la fuente de agua de la zona del invernadero.

Con la finalidad de combatir cualquier irregularidad en el funcionamiento del sistema de riego inteligente y evitar alguna interrupción en la tarea del mismo, en el último periodo se procedió a mejorar los siguientes aspectos: acondicionar las hortalizas con una limpieza de la maleza que la rodea con mayor frecuencia, ubicar el sensor de humedad de forma correcta para evitar que esta afecte a la parte física del sensor, modificar el tiempo de decisión del sistema de riego a cada hora, esto significa que cada 60 minutos el sistema de riego decide si regar o no y por consiguiente puntualizar el análisis en su comportamiento con los mencionados cambios. La Figura 77 muestra las hortalizas en el cuarto periodo.



Figura 78. Hortalizas en el cuarto periodo
Fuente: Elaborada por el Autor

Es claro identificar en la Figura 77 algunos cambios positivos, el primero de ellos se refleja en las condiciones de humedad adecuada adquirida por la parcela, el segundo cambio se aprecia en las características de las hortalizas donde se observan sus hojas con mayor tonalidad verde, además un notable incremento en su tamaño y la robustez en cada uno de ellos.

La conclusión de la realización del primer escenario manifestó lo siguiente: el sistema con lógica difusa si responde conforme a las condiciones ambientales existentes en el entorno sustentado en las reglas con características basadas en el conocimiento de un experto, por ejemplo: si aumenta la humedad del suelo, el mismo efecto conduce a incrementar el tiempo de riego; el sistema de riego se detiene cuando la humedad del suelo cumple el valor conFigurado que fue adquirido en pruebas previas. Una de las pruebas consistía en el siguiente caso: cuando el sensor de humedad del suelo supera el valor de 550 se produce una respuesta del controlador con tiempo mayor a cero segundos, caso contrario siempre marcará cero, ya que justifica la condición de humedad apropiada, lo cual está conFigurado en el microcontrolador. Un aspecto relevante que aconteció fue que al aumentar la frecuencia de riego por parte del sistema difuso, la cantidad de agua también elevó su cantidad, superando los niveles de consumo necesario para los cultivos, sin embargo, se redujo el tiempo de desarrollo evolutivo de los cultivos, ya que regularmente el periodo de producción de las hortalizas usadas en este escenario son de 80 días aproximadamente considerando desde el instante que se plantó la hortaliza en la parcela (Ministerio Agricultura Ecuador, 2015). Con esta prueba las hortalizas al cabo de 70 días ya presentaron características aptas para el consumo.

Finalmente, durante el periodo de esta prueba no se logró evidenciar el objetivo principal de esta investigación, la cual consiste en optimizar el recurso de agua con el empleo de este sistema de riego, sin embargo, esta prueba contribuyó al perfeccionamiento en varios aspectos del prototipo, tales como: validación en la respuesta del control difuso, identificación de valores que inicialmente estaban exentos al proceso de control difuso entre otros. El **ANEXO 12** se muestra la unificación entre el equipo del sistema inteligente de riego y la parcela de este escenario de pruebas.

4.2.2. Segundo Escenario.

El segundo escenario es un complemento del primer escenario y fue elaborado con la finalidad de verificar uno de los alcances propuestos en esta investigación, el cual consiste en demostrar la posibilidad de optimizar el uso del agua con el aporte de este sistema basado en lógica difusa. Este escenario al igual que el primero contiene los mismos procedimientos que se describen en la siguiente sección, incluyendo el cálculo del caudal y la evaluación sobre el consumo de agua.

4.2.2.1. Cultivo de hortalizas.

Con un nivel de experiencia básico en horticultura se procedió a colocar las siguientes hortalizas, tales como: col morada, lechuga, acelga sobre dos parcelas semejantes con dimensiones de 4X1 metros² en ambos casos, ubicando dos hileras por cada parcela con una separación entre hortalizas de 30 cm. La Figura 79 muestra una visualización de la preparación de las parcelas para la técnica manual y por aspersión.

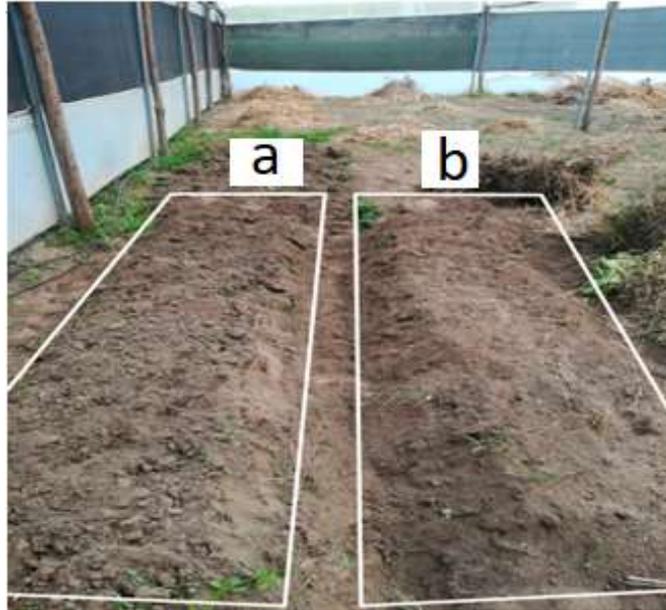


Figura 79. a) parcela para riego con lógica difusa; b) parcela para riego manual por goteo.
Fuente: Elaborado por el Autor

La guía del agricultor aconseja acondicionar una humedad apta sobre el terreno de las parcelas, la finalidad es asegurar que las hortalizas consigan adaptarse exitosamente en la tierra lo que conlleva a iniciar con la instalación del canal de riego para este escenario. La Figura 80 muestra el canal de riego implementado en las dos parcelas con la particularidad de ser independientes en su operación, donde la sección A representa la parcela con lógica difusa y la B con técnica manual por goteo.

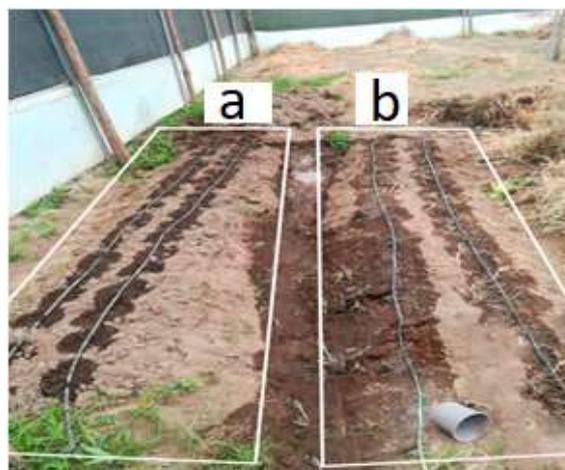


Figura 80. Instalación del canal de riego; a) parcela con riego inteligente y goteo; b) parcela con riego manual por goteo

Fuente: Elaborada por el Autor

El tiempo de riego empleado en la preparación de las dos parcelas fue de 30 minutos, tiempo suficiente para humedecer y facilitar el proceso de siembra de las hortalizas proporcionada en la recomendación del técnico agricultor. La Figura 81 muestra la finalización de la siembra de las hortalizas con un suelo en condiciones de humedad adecuado.

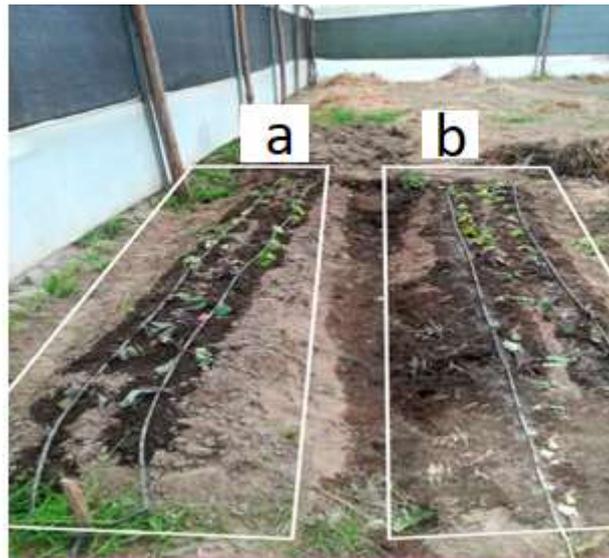


Figura 81: Finalización de la siembra; a) parcela con riego con lógica difusa y goteo; b) parcela con riego manual por goteo

Fuente: Elaborada por el Autor

Esta actividad finaliza con la activación del sistema de riego inteligente con las condiciones adquiridas en esos instantes, con ayuda de un Smartphone se accede a la interfaz de gestión de este sistema y se verifica su correspondiente actividad. La Figura 82 es una captura de pantalla perteneciente al Smartphone conectado a la red wifi propuesta por el raspberry Pi, utilizado como medio de acceso al equipo para verificar la información conseguida mediante la aplicación de gestión del riego inteligente.

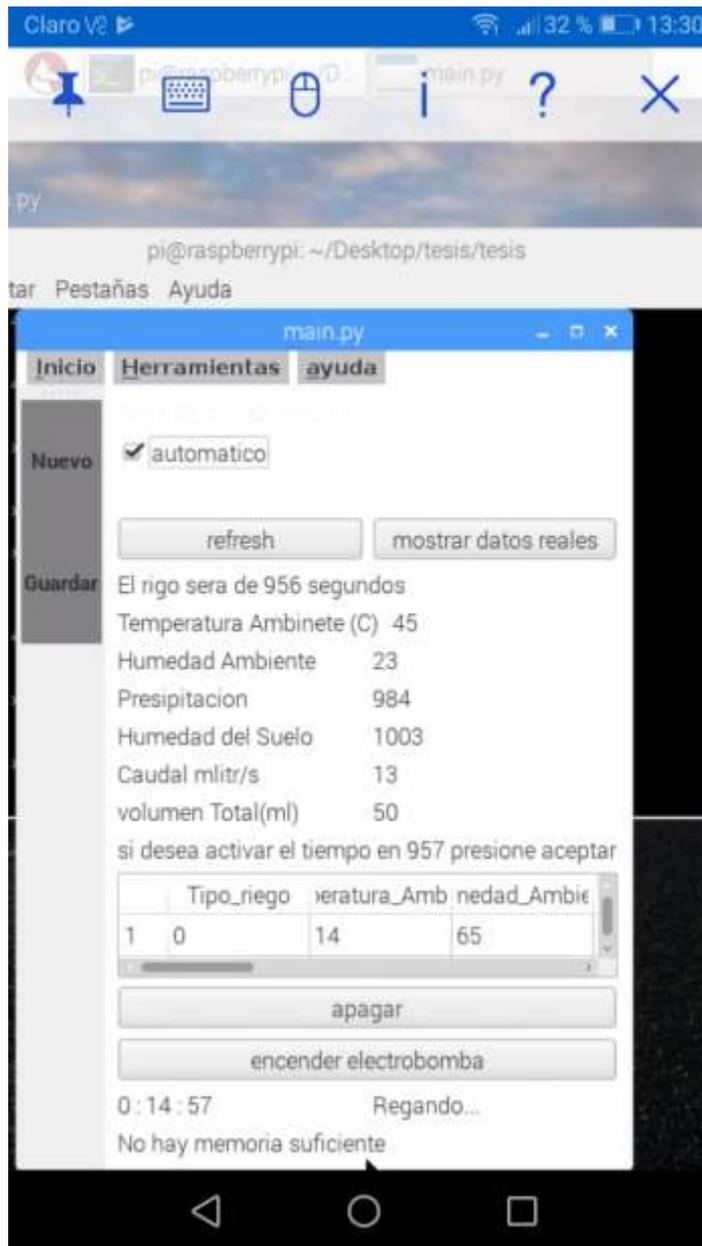


Figura 82. Estado del sistema de riego mediante un Smartphone
Fuente: Elaborada por el Autor

4.2.2.2. Fuente de agua

Para la realización de las pruebas de este escenario se determinó el uso de dos fuentes de agua, la primera que le pertenece al control con lógica y difusa que ya fue definida en el primer escenario, y la segunda es la habilitación de otra llave que forma parte de un sistema de riego por goteo que aún no está en operación. La característica principal de la segunda

fuente de agua es por su modo de operación manual en cuyo objetivo es la apertura y cierre del paso de agua para el cultivo de hortalizas de este escenario, además sus dimensiones son similares lo que ayudara a evaluar correctamente las medidas del consumo de agua.

4.2.2.3. Tiempo y frecuencia de Riego.

Las funciones correspondientes a estos dos términos se explicaron en el primer escenario, por tal razón, en este caso se ha propuesto en adecuar el valor que encaje al momento de conseguir la eficiencia en el uso del agua.

4.2.2.4. Operación.

EL proceso clave para este escenario corresponde al desarrollo de las siguientes actividades: disponer de dos parcelas de iguales características, una parcela con riego basada en lógica difusa y la segunda parcela con riego manual por goteo. La técnica manual requiere la asistencia al lugar donde se localiza la llave que da paso al riego de la parcela.

La Tabla 58 muestra la cantidad de hortalizas que ocupan las dos parcelas en el primer día, cuya etapa es conocida como siembra.

Tabla 58
Población de hortalizas del segundo escenario

	Lechuga	Col Morada	Acelga	Total	Tipo Riego
Parcela 1	10	12	6	28	Sistema Inteligente
Parcela 2	10	10	6	26	Manual
Total	20	22	12	54	

El primer riego en considerar es previo a la siembra, recomendado en la preparación del terreno; el tiempo empleado en las dos parcelas por simple deducción es el mismo, el agua se esparció sobre las parcelas alrededor de una hora. La Figura 84 contiene la

preparación de las parcelas descritas al final de la sección 4.2.2.1, pero que es necesario para mencionar en esta sección.

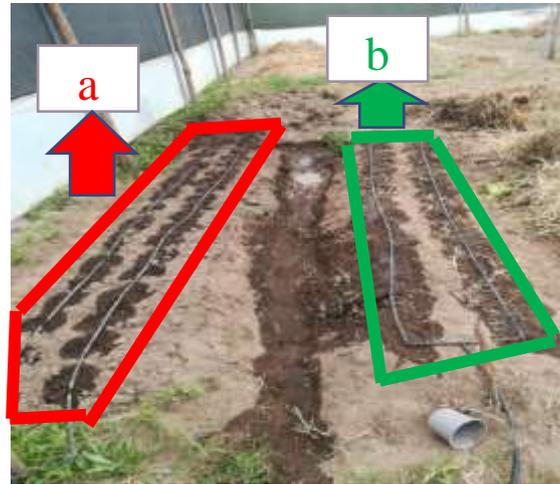


Figura 83. Primer riego; a) parcela con riego con lógica difusa y goteo; b) parcela con riego manual por goteo
Fuente: Elaborada por el Autor

En la Figura 83 la superficie de las parcelas presenta la característica de una humedad parcial que se detectó con ayuda de la observación directa; se procede a colocar las hortalizas en la parcela 1 y del mismo modo en la parcela 2, tal y como se mostró en la Figura 81. Al finalizar la siembra, se verifico que no exista ningún inconveniente en el sector de las parcelas, tales como: acceso no autorizado en la zona del invernadero, protección del equipo frente a temperaturas altas en el entorno, disponibilidad del recurso de agua que influyan en el rendimiento de las técnicas de riego, principalmente la que emplea lógica difusa, ya que al culminar con la actividad en el primer se procede al abandono temporal del sector. Este día concluyo con ausentarse del sector de Chaltura sin antes activar el sistema de riego inteligente, con un tiempo de decisión por parte del sistema de 8 horas, con algunos primeros datos mostrados en la Figura 84 e integrada la función de automatización.

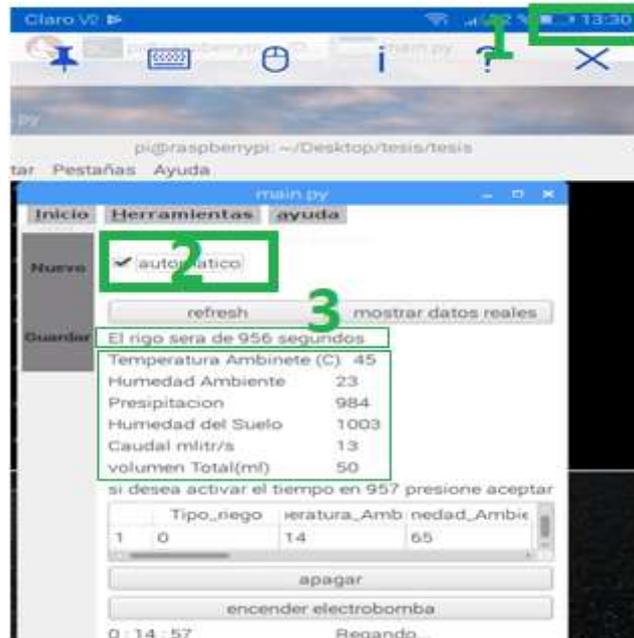


Figura 84. Operación del sistema con lógica difusa incluyendo automatización
Fuente: Elaborada por el Autor

La Figura 84 contiene la siguiente información: al momento es necesario un riego en la parcela que trabaja con lógica difusa, debido al déficit de humedad presente en la tierra.

Al día siguiente se asiste al lugar de cultivos para supervisar el avance de las hortalizas con ayuda de la técnica de observación como referencia, se logró apreciar algunos cambios, los más notorios fueron los siguientes: las parcelas mantienen una humedad del suelo casi similar, la parcela con lógica difusa presenta una mayor humedad del suelo. La Figura 85 muestra las hortalizas un día después de la siembra, la sección a riego con lógica difusa y la sección b riego manual por goteo.

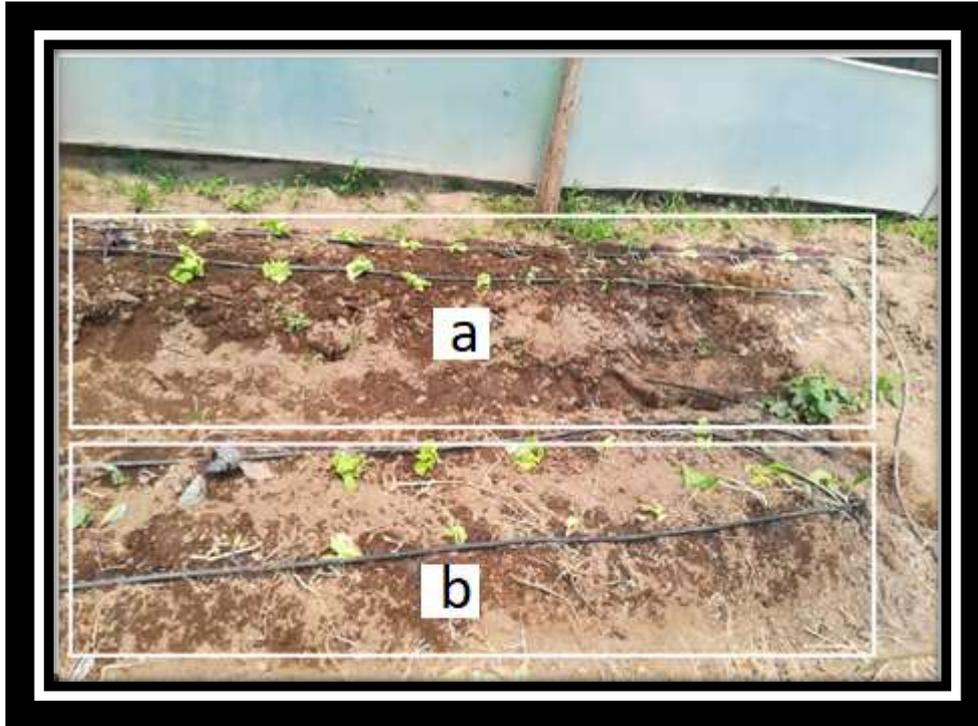


Figura 85. Hortalizas en el primer día; a) parcela con riego empleando lógica difusa y goteo; b) parcela con riego manual por goteo
Fuente: Elaborada por el Autor

4.2.2.5. Cálculo del caudal de forma empírica de la técnica de riego manual por goteo

Este proceso consiste en emplear el procedimiento que permita determinar el consumo de agua por parte del método manual, donde fueron necesarios adquirir ciertas herramientas, tales como; recipientes, cronometro y mucha paciencia que solicita esta importante tarea. El método adoptado para el cálculo del consumo de agua es empírico donde la técnica que colaboro en su totalidad es mediante la observación.

El punto de partida para el cálculo del consumo de agua es desde su fuente que en el caso del método manual por goteo presenta ventajosamente las mismas dimensiones que la técnica con lógica difusa, sin embargo, la forma para obtener este valor se planifico con ayuda de una pequeña prueba que consistió en colocar un recipiente conociendo la capacidad de su volumen; el recipiente utilizado en esta prueba soporta un volumen de un litro, tal y como se muestra en la Figura 86.



Figura 86. Recipiente para medir el caudal de la técnica manual de riego por goteo
Fuente: Elaborada por el Autor

Para continuar con el avance de la prueba se requiere de un cronometro, ya sea digital o analógico que sirve para realizar los distintas pruebas hasta obtener un resultado aproximado al a valor real del caudal; en esta prueba se optó por un cronometro digital que facilito un Smartphone. La Figura 87 muestra el cronometro utilizado en esta prueba

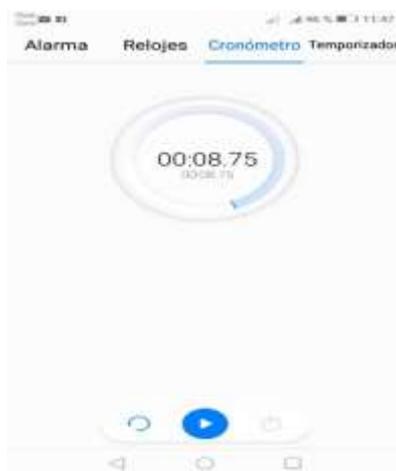


Figura 87. Cronometro utilizado para esta prueba
Fuente: Elaborada por el Autor

Con las herramientas necesarias se procedió a efectuar la prueba con el siguiente procedimiento: se colocó el recipiente en la parte inferior de la manguera de riego de goteo que se localiza en la parcela permitiendo el flujo de gotas de agua desde uno de los goteros hacia el interior del recipiente. Por sentido común solamente debe considerarse un solo

gotero; se mantuvo un total cuidado para poder colocar el recipiente de una forma correcta para evitar la repetición de la prueba, tal y como se muestra en la Figura 88.



Figura 88. Ubicación correcta del recipiente
Fuente: Elaborada por el Autor

Colocado el recipiente correctamente, el siguiente paso es la sincronización con el cronometro; una vez establecido la sincronización más exacta se procedió a iniciar el cronometro conjuntamente desde que cae la primera gota en el recipiente. Finalmente, manteniendo la paciencia correspondiente del caso se debió aguardar durante el tiempo que demore en llenar el recipiente, tal y como se visualiza en la Figura 89.



Figura 89 Llenado del recipiente
Fuente: Elaborada por el Autor

Culminado con la prueba se obtuvieron los siguientes resultados: el tiempo en llenarse el recipiente de un litro según el cronometro es de una hora, lo que significa que este valor es el caudal que proporciona un solo gotero; las dimensiones de la manguera del sistema de riego manual son 14 goteros por manguera, al ser doble manguera por hilera se tiene un total de 28 goteros, asumiendo que los goteros operan a un ritmo uniforme el caudal de toda la parcela perteneciente a este escenario son 24 litros por hora. Este resultado ya se dispone para manipularlo con las unidades que se aproximen al caudal de la parcela con lógica difusa.

4.2.2.6. Evaluación del consumo de agua del sistema inteligente de riego.

La Tabla 57 muestra los aspectos detectados que sucedieron el día 1 desde que se iniciado el funcionamiento de las dos técnicas de riego, refiriéndose en si a los aspectos positivos y negativos identificados en ese día, donde incluye el consumo generado en ese día.

Tabla 57

Aspectos detectados en el primer día desde la siembra

Tipo de Riego	Tiempo desde la siembra(días)	Cambios positivos	Cambios Negativos	Consumo de agua(litros)
Sistema inteligente	1	0 % de tasa de mortalidad de las hortalizas. Hojas de las hortalizas colorante, radiante Suelo en condiciones aptas para el desarrollo. Hortalizas de tamaño mayor	Parte lógica del sistema (nuevos valores en las magnitudes ambientales). Realizo 2 riegos en menos de 24 horas.	20
Sistema manual	1	Un riego en menos de 24 horas	Hortalizas de Tamaño menor Menor humedad del	12

suelo que la parcela
1

3.86% tasa de
mortalidad de la
parcela.

En el día uno claramente se obtiene las primeras ventajas acerca del uso de la técnica con un sistema de riego inteligente, superando las dificultades por parte de la técnica manual, sin embargo, el propósito de ahorro en el recurso de agua no es apreciable en este corto tiempo.

El día 1 finaliza con el empleo de las siguientes actividades: una última inspección en la zona de cultivos, la recopilación de información almacenada en la base de datos y una observación directa sobre los resultados que aportaron las dos técnicas de riego en las parcelas.

Es importante mencionar lo siguiente: el valor del caudal de la fuente de agua del riego con técnica difusa es adquirido por el caudalímetro, mismo que forma parte de esta técnica y el valor del caudal de la técnica manual se obtuvo empíricamente apoyado de una pequeña prueba, la cual fue realizada el día que se inició la plantación de las hortalizas para las pruebas de este escenario.

El proceso que se estableció para el respectivo análisis sobre el consumo de agua es similar al del primer escenario, donde lo más apropiado es designar periodos de tiempo durante la evolución de las hortalizas, por tal motivo, las duraciones de los diferentes periodos se muestran en la Tabla 58.

Tabla 58
Periodos del segundo escenario.

Periodo	Duración(días)
1	7
2	14

Fuente: Elaborada por el Autor

La Figura 90 muestra las características del segundo escenario luego de 7 días de siembra y los cambios se detallan en la Tabla 59.

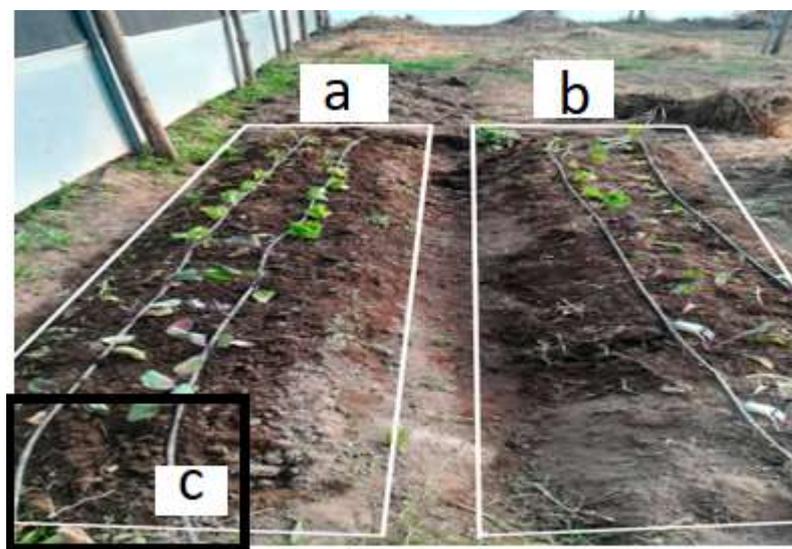


Figura 90. Primer periodo; a) parcela con riego empleando lógica difusa y goteo; b) parcela empleando riego manual por goteo; c) sensor de humedad

Fuente: Elaborada por el Autor

Tabla 59
Aspectos detectados en el primer periodo.

Tipo de Riego	Tiempo desde la siembra(días)	Cambios positivos	Cambios Negativos	Consumo de agua(litros)
Sistema inteligente	7	0 % de tasa de mortalidad de las hortalizas Hojas de las hortalizas colorante, radiante. Suelo en condiciones aptas para el	Realizo 4 riegos en 7 días	40

		desarrollo		
		Tamaño mayor		
Sistema manual	7	Un riego en menos de 7 días	15.38% tasa de mortalidad de la parcela. Tamaño menor Estrés hídrico Falta de humedad del suelo.	48

El parámetro fundamental para el cálculo del consumo de agua en el caso del sistema inteligente proviene del componente responsable de evaluarlo, cuyo valor se registra en la base de datos que maneja esta técnica de riego. El **ANEXO 8** contiene los registros generados durante el periodo de funcionamiento de los dos escenarios.

Al validar la cantidad de agua respecto a la propuesta del técnico agricultor, asume que la parcela 2 con método manual se adquiere del siguiente análisis: Según el criterio del técnico agricultor son 20 litros por metro² suficientes para las hortalizas durante el primer periodo, lo que quiere decir, que por cada metro² se riega 20 litros, al ser una superficie de 4 metros² el consumo de agua del primer periodo seria 80 litros, sin embargo, esta cantidad puede modificarse según la sugerencia del técnico agricultor, la cantidad sugerida no necesariamente utiliza el 100%, su criterio expresa que existen casos del uso del 80% que depende del criterio técnico agricultor. La Tabla 60 muestra el consumo de agua de los primeros siete días. comparada con recomendación del técnico agricultor.

Tabla 60
Consumo de agua de las dos técnicas de riego

Técnicas de riego	Periodo(días)	Consumo de agua(litros)	Agua Requerida (%)
Técnico agricultor	7	48	60
Sistema Inteligente	7	40	50

Fuente: Elaborada por el Autor

De la Tabla 60 se comprueba un ahorro del 10% con técnica sistema de riego inteligente en el ciclo de 7 días en comparación de la técnica manual, los 48 litros del consumo de agua referente a la técnica manual se obtuvieron del proceso de medición, este valor fue calculado empíricamente con un recipiente colocado en uno de los goteros pertenecientes a los conductos por donde fluye en el agua.

El segundo periodo se consideró en un periodo de 14 días después de transcurrir el primer ciclo (7 días), con la prioridad de analizar el consumo de agua durante este nuevo ciclo. La Figura 91 muestra los cambios correspondientes a este segundo periodo, donde la sección A representa al riego con control difuso y la sección B con técnica manual por goteo.



Figura 91. Segundo periodo; A) parcela con riego empleando lógica difusa; B) parcela con riego manual por goteo

Fuente: Elaborada por el Autor

En la Figura 92 es evidente apreciar notables cambios en las distintas parcelas, con mejor claridad en la técnica con lógica difusa, donde la imagen que le corresponde a esta parcela se enmarca en el cuadro rojo, las hojas son más verdes que la otra parcela que

presenta una especie de desgaste en su color, debido a la resequedad del suelo; la maleza en la parcela con lógica difusa es menor que la de la parcela con técnica manual entre otros beneficios. El consumo de agua del segundo periodo se muestra en la Tabla 61.

Tabla 61
Consumo de agua del segundo periodo

	Periodo(días)	Consumo de agua(litros)	Agua Requerida (%)
Técnico agricultor	13	48	60
Sistema Inteligente	13	20	41

Fuente: Elaborada por el Autor

El consumo de agua por parte de la técnica con lógica difusa en el segundo periodo logro un ahorro del 20 % en comparación de la técnica manual por goteo. El comportamiento de la técnica con lógica difusa sigue demostrando la potente utilidad de beneficiar de cierta manera el consumo del recurso del agua, como se ha podido demostrar en cada uno de los periodos de pruebas de los dos escenarios, además se muestra un mejor aspecto visual y colorido por parte de las hortalizas que no era notorio por la técnica de riego manual por goteo. En el anexo 12 se muestra la parcela con lógica difusa y el escenario.

Se nota con claridad como la respuesta del tiempo de riego se modificaba conforme transcurría el tiempo de pruebas, demostrando la ventaja que ofrece el control con lógica difusa que consiste en operar frente a cambios que puedan alterar el estado de las variables meteorológicas.

El desarrollo de esta investigación permitió comprobar la optimización del recurso de agua utilizando lógica difusa para sistemas de riego en hortalizas, demostrando de esta manera un gran beneficio que conlleva diseñar un control de riego con lógica difusa. Finalmente, en el **ANEXO 12** se muestra el área de hortalizas de este escenario incluyendo al sistema de riego con lógica difusa.

4.3. Matriz de confusión.

Esta herramienta le permitirá al sistema definir su nivel de desempeño o exactitud en porcentaje (%), se resume a que tan eficiente es la operatividad en el control que tiene este sistema de riego inteligente con lógica difusa. La dimensión de la matriz de confusión para este sistema es una matriz de 2x2, el análisis se centra en la salida del controlador difuso que se reduce a la actividad de regar o no. Es importante resaltar que esta matriz una parte de ella la conforman las predicciones, para esto se considera que las reglas difusas que contiene el sistema inteligente se asemejan a las predicciones donde; el autor es quien define cuáles son esas posibles predicciones por sentido común y basándose en las reglas difusas, aclarado esto la matriz de confusión presenta el siguiente modelo expresado en la Tabla 62.

Tabla 62
Modelo de representación Matriz de Confusión.

		Predicción	
		Si Riega	No Riega
Valores Reales	Si Riega	VP	FN
	No Riega	FP	VN

Fuente: Elaborada por el Autor

El número de predicciones que se realizaron fueron 30 y se muestran en la Tabla 63.

Tabla 63
Predicciones para la matriz de confusión

Predicción.	Predicción	Decisión Verdadero	Falso
1	Cuando la TA es 15 °C, la HA menor 40, la HS mida mayor 700, Pr es mayor a 900	Riega	X
2	Cuando la TA es mayor 12 °C, la HA menor 30, la HS mida 700, Pr es mayor a 900	Riega	X
3	Cuando la TA es mayor 12 °C, la HA menor 30, la HS mida 900, Pr es mayor a 800	Riega	X
4	Cuando la TA es mayor 20 °C, la HA menor 30%, la HS mida 900, Pr es mayor a 700	Riega	X
5	Cuando la TA es menor 40 °C, la HA menor 20, la HS mida 900, Pr es mayor a 800	Riega	X

6	Cuando la TA es mayor 35 °C, la HA mayor 25, la HS mida mayor 570, Pr es mayor a 800	Riega	X	
7	Cuando la TA es mayor 25 °C, la HA menor 30, la HS mida mayor 530, Pr es mayor a 800	Riega	X	
8	Cuando la TA es menor 10°C, la HA menor 40, la HS mida mayor 700, Pr es mayor a 800	Riega	X	
9	Cuando la TA es mayor 45 °C, la HA menor 30, la HS mida 900, Pr es mayor a 800	Riega		X
10	Cuando la TA es mayor 12 °C, la HA menor 30, la HS mida 900, Pr es mayor a 800	Riega	X	
11	Cuando la TA es mayor 12 °C, la HA menor 30, la HS mida menor o igual a 510, Pr es mayor a 800	No Riega	X	
12	Cuando la TA es mayor 30 °C, la HA menor 30, la HS mida menor 300, Pr es mayor a 600	No Riega	X	
13	Cuando la TA es mayor 12 °C, la HA menor 30, la HS mida 800, Pr es menor a 500	No Riega	X	
14	Cuando la TA es mayor 20 °C, la HA mayor 15, la HS mida 600, Pr es menor a 400	No riega	X	
15	Cuando la TA es menor 11 °C, la HA menor 40, la HS mida menor a 300, Pr es mayor a 800	No riega	X	
16	Cuando la TA es mayor 40 °C, la HA menor 30, la HS mida menor a 511, Pr es mayor a 800	No riega	X	
17	Cuando la TA es menor a 8 °C, la HA menor 25, la HS mida mayor 1024, Pr menor a 300	No Riega	X	
18	Cuando la TA es mayor 48 °C, la HA mayor 50, la HS mida mayor 1000, Pr es menor a 350	No Riega	X	
19	Cuando la TA es 99 °C, la HA sea menor a 12, la HS mida 312, Pr es mayor a 800	No Riega	X	
20	Cuando la TA es 23 °C, la HA es 35, la HS es 490, Pr es 600	No Riega	X	

Fuente: Elaborada por el Autor

Con el planteamiento de las predicciones de la Tabla 64 la matriz de confusión determina fundamentada en formulas en calcular los siguientes valores: exactitud y tasa de error. Los datos correspondientes a la matriz de confusión se describen en la Tabla 64.

Tabla 64*Modelo de la matriz de confusión del sistema de riego con lógica difusa*

		Predicción	
		Si Riega	No Riega
Valores Reales	Si Riega	9	10
	No Riega	1	0

Fuente: Elaborada por el Autor

Con la información de la Tabla 64 se resume al siguiente resultado: el número total de predicciones son 20, de ellas 19 se cumplieron y 1 no. Con la información ingresada en la matriz de confusión se procede a realizar las operaciones correspondientes a la exactitud y precisión. Para evaluar estos parámetros es necesario recurrir a las ecuaciones 12 y 13.

$$exactitud = \frac{VP+VN}{VP+VN+FN+FP} = \frac{9+10}{9+10+1+0} = 0,95 = 95\% \quad (12)$$

El porcentaje de predicciones correctas es de un 95 %, algunos autores consideran que este valor es apropiado si su valor es mayor al 92%, este concluye a que el diseño de este controlador difuso para el sistema de riego es correcto.

El siguiente calculo es la precisión del sistema, para ello se requiere de la ecuación (13).

$$precision = \frac{VP}{VP+FP} = \frac{9}{9+0} = 1 = 100\% \quad (13)$$

Este resultado concluye que todas las predicciones positivas sí estuvieron presentes, que el sistema evito devolver alguna respuesta errónea definidas en las predicciones.

Los aspectos principales que obligaron al empleo de la matriz de confusión para este prototipo fueron los siguientes: comprobar el desempeño del sistema, ayudar a identificar errores e inconsistencias en alguno de los datos, balancear la información, gracias a esto se logró detectar el error en la predicción que no se cumplió en la Tabla 56, la causa que se identificó se presentó en el universo de discurso, está definido al iniciar el diseño del control con lógica difusa, específicamente en la variable Temperatura Ambiente, el valor de esta variable fue 48, este valor sobrepaso el límite de trabajo del universo de discurso, en ese

momento era despreciable para el sistema porque el valor máximo de trabajo que ejercía era de 45, la solución fue simple, se incrementó al valor máximo que monitoreo el sensor en todo el ciclo de operación del sistema de riego que serviría para incluirlo en alguna de las reglas difusas.

Conclusiones

- Al finalizar el desarrollo del prototipo del sistema de riego inteligente basado en lógica difusa para cultivos de hortalizas se logró evidenciar el funcionamiento autónomo de este equipo, donde no era necesario la intervención del técnico agricultor para realizar el riego, sino una supervisión esporádica cuando esta misma persona considere necesario.
- Durante el periodo de pruebas del funcionamiento del sistema de riego inteligente basado en lógica difusa fue necesario realizar dos tipos de escenarios de pruebas, el primero como apoyo para corregir las fallas que se suscitaban y el segundo escenario considerando las correcciones efectuadas del primer escenario permitió conseguir un ahorro de un 20 % en comparación con la técnica manual por goteo.
- Un sistema de riego manual por goteo se mantiene como la alternativa más accesible al momento de implementar un sistema de riego en hortalizas, sin embargo, con el pasar del tiempo se puede convertir en un sistema obsoleto ya que mediante esta investigación se ha demostrado que su ahorro en el consumo de agua es bajo respecto a la técnica con lógica difusa.
- La interfaz gráfica que gestiona el sistema de riego inteligente basado en lógica difusa para cultivo de hortalizas opero con dos técnicas de riego distintas, una donde el tiempo era establecido por el técnico agricultor y la otra técnica aplicando lógica

difusa, siendo este último una solución autónoma que no requería la intervención del operador.

- La herramienta de Matlab aportó en el desarrollo del prototipo de riego inteligente con lógica difusa mediante la creación de una aplicación, la misma permitió la comparación de los resultados en el entorno real y el simulado para reconocer los problemas que afectaron al prototipo y que fueron solucionados al plasmarlos en la simulación.
- Con la utilización de la matriz de confusión se determinó la precisión y la exactitud del sistema de riego inteligente basado en lógica difusa para cultivos de hortalizas difuso, dichos parámetros garantizaron el funcionamiento correcto y eficiencia del mismo.

Recomendaciones.

- Es necesario aumentar más reservas de agua al sistema de riego con lógica difusa para evitar que afecte a su funcionamiento precisamente al momento de regar, ya que la fuente que se utiliza es empleada para regar otras superficies de cultivos que no pertenecen a las hortalizas, lo que genera una inevitable desconexión de la misma en algún momento, esto crea la inoperatividad del sistema de riego con lógica difusa
- Emplear la metodología empírica en la calibración de los sensores utilizados para medir los factores meteorológicos, esto ayuda a optimizar la precisión de los cálculos evaluados por el sistema inteligente de riego con lógica difusa.
- Considerar la posibilidad de fabricar un sensor de humedad del suelo, ya que en todo el periodo de pruebas en los dos escenarios se presentaron averías en este componente, donde en reiteradas ocasiones se vio la necesidad de reemplazarlo.
- Utilizar buenas prácticas de programación, si se desea implementar aplicaciones más robustas y funcionales, con el fin de evitar una congestión de una serie de variables, módulos y métodos que pueden complicarse al momento de recordarlas.
- Agregar nuevas herramientas de gestión, administración y visualización al prototipo para que su desempeño sea aún más eficiente.
- La parte de suministro eléctrico del sistema de riego con lógica difusa no utiliza un respaldo de energía para que pueda operar en caso de que suceda un corte de luz eléctrica, por ende afecta a la operatividad del sistema, por lo tanto, se recomienda

construir una fuente que provenga de la energía renovable y que proporcione una cantidad suficiente de corriente a los componentes electrónicos del sistema inteligente.

Bibliografía

- scikit-fuzzy development team. (2014, Febrero). *scikit-fuzzy*. Retrieved from <https://pythonhosted.org/scikit-fuzzy/overview.html>
- Alonso, S. K. (2008). *eMathTeacher*. Retrieved from http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/fuzzy_inferencia/main_en.htm
- Amazon. (2016, Junio 17). *Amazon*. Retrieved from <https://www.amazon.es/M%C3%B3dulo-control-Inal%C3%A1mbrico-Bluetooth-Arduino/dp/B01GNKE6PU>
- Anonimo. (2012, Agosto). *UDEP*. Retrieved from http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_185_184_133_1746.pdf
- Arduino.cl. (2015, Mayo 23). *Arduino.cl*. Retrieved from <http://arduino.cl/arduino-leonardo/>
- Artero, O. T. (2013). *Arduino. Curso práctico de formación*. Mexico: Alfaomega.
- Ashton, K. (2013, Noviembre). *carriots*. Retrieved from https://www.carriots.com/newFrontend/img-carriots/press_room/Construyendo_un_proyecto_de_IOT.pdf
- Balcells J, R. (2007, junio 9). *ISA*. Retrieved from <http://isa.uniovi.es/docencia/autom3m/Temas/Tema7.pdf>
- Beguer, X. G. (2017, Marzo 4). *Profesional Review*. Retrieved from Profesional Review: <https://www.profesionalreview.com/2017/03/04/asus-tinker-board-review/>

- Box, M. T. (2016, junio 12). *MiniIn The Box*. Retrieved from https://www.miniinthebox.com/es/modulo-fc-28-d-del-suelo-higrometro-deteccion-sensor-de-humedad-blue_p685424.html
- Castro, Rodriguez. (2015). *Ingenieria de Software*. Montevideo: CETP. Retrieved from <https://www.fing.edu.uy/tecnoinf/mvd/cursos/ingsoft/material/teorico/is03d-IngReq.pdf>
- CEME. (2017, 11 1). *sfcalefaccion*. Retrieved from http://www.sfcalefaccion.com/pdfcatalogos/division_5%20electrovalvulas%20ceme.pdf
- Cruz, A. (2014). *academia*. Retrieved from http://www.academia.edu/10376257/Definiciones_de_sistemas_inteligentes_y_5_ejemplos_de_sistemas_inteligentes
- D.Guzman, Castaño. (2006). *La Logica Difusa en la Ingenieria*. Queretaro, Mexico.
- Delgado, I. (2012). *Modelo de control borroso para la regulacion de la temperatura del agua en piscinas climatizadas (trabajo de pregrado)*. Universidad de Huelva, Huelva. Obtenido de <http://www.uhu.es/juanc.gutierrez/PID11030/PDFs/MercedesIsabel.pdf>
- Dignani, J. P. (2011). *postgrado.info.unlp.edu.ar*. Retrieved from http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carreras/Especializaciones/Redes_y_Seguridad/Trabajos_Finales/Dignanni_Jorge_Pablo.pdf
- ELECTRONIC, M. (2017, 02 8). *MCI Electronics*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=heYdOghkNLw>

- Electronics, H. (2018, Febrero). *Hobby Electronics*. Retrieved from <https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf>
- F.Plaza. (2018, 01 28). *Fresh Plaza*. Retrieved from <http://www.freshplaza.es/article/113157/El-comercio-de-hortalizas,-m%C3%A1s-que-un-asunto-local>
- FAO, D. A. (2016). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/y4893s06.htm>
- FEC. (2018, Marzo). *Future Electronic Corporation*. Retrieved from http://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet/1480854383_water%20and%20soil.pdf
- George J. Klir and Bo Yuan. (1995). *FUZZY SETS AND FUZZY LOGIC*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Hernandez, J. C. (2015, Agosto 16). *Hackeando Tec*. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=xLFNUo0mTZE&list=PLIyIZGalSAZoWAeT_tL7zCv3wi1ISrBa0
- Hunter. (2018, febrero). *Hunter industrias*. Retrieved from https://www.hunterindustries.com/sites/default/files/BR_PGV_sp.pdf
- HUNTER. (2018, Enero 27). *Industrias_Hunter*. Retrieved from <https://www.hunterindustries.com/es/product/valvulas/pgv-de-tapa-roscada>
- Isabel, I. D. (2012). Modelo de control borroso para la regulación de la temperatura del agua en piscinas climatizadas. HUELVA. Retrieved from <http://studylib.es/doc/8538145/pdf---universidad-de-huelva>

J.Ross. (2017). *FUZZY LOGIC WITH ENGINEERIN APLICATIONS*. New Mexico: John Wiley & Sons IITd.

J.Ross, T. (n.d.). Fuzzy Logic with Engineering Aplication. In 2010, *Fuuzzy Logic* (p. 607). Mexico, Mexico: WILEY.

Javier Antúnez, M. P. (2013). *sedici*. Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/27186/Aproximaci%F3n+para+un+m%E9todo+de+elicitaci%F3n.pdf;jsessionid=DF64585A1F4BF596F45D97F08AB42EA3?sequence=1>

Kazem Sohraby, Daniel Minoli, Taieb Znati. (2007). *Wireless Sensor Network*. New Jersey: Wiley-Interscience.

LIBRE, M. (2016, Septiembre 28). *MERCADO LIBRE* . Retrieved from https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-560050113-sensor-de-flujo-fs300-_JM?quantity=1

Liotta, M. (2015). *Manual de Capacitacion* . Rivadavia: Rivadavia. Retrieved from https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf

LLAMAS, L. (2016, Febrero 2016). *luisllamas_Ingenieria_Inforatica_y_Diseño*. Retrieved from <https://www.luisllamas.es/arduino-lluvia/>

Luis.S.Pereira, Jose.A, Juan.V, Maria.R.Piqornel, Jose.Tarjuelo. (2010). *El Ruego y sus Tecnologias*. LISBOA: CREA-UCLM.

MAGAP. (2017). *Sistema de Informacion Publica y Agropecuaria*. Retrieved from <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/sipaestadisticas/sipa-estadisticas-productivas>

- María Guijarro Mata-García; Estefanía Tortajada Agudo; Fernando González Rivas. (2006-2007). *eprints*. Retrieved from http://eprints.ucm.es/9119/1/Sistema_de_Riego_Inteligente_Borroso.pdf
- Mendoza, E. F. (2009, junio 5). *matematica aplicada*. Retrieved from <https://matematicaaplicada.wordpress.com/2009/06/05/introduccion-a-la-logica-difusa/>
- Ministerio Agricultura Ecuador. (2015, Abril 6). *Agrocalidad*. Retrieved from <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/inocuidad/HORTALIZAS-VERDURAS/hortalizas-verduras.pdf>
- Montecristy, A. C. (2010). *Constitucion Montecristy*. Montecristy.
- Morales, M. (2015). *INCIPY*. Retrieved from <http://www.fundacionseres.org/SiteAssets/Lists/EventosSeres/EditForm/internetofthings.pdf>
- NAYLAMP. (2016, Abril 13). *NAYLAMP_MECHATRONICS*. Retrieved from http://www.naylampmechatronics.com/blog/47_tutorial-sensor-de-flujo-de-agua.html
- Openhacks. (2018, enero). *Openhacks*. Retrieved from https://www.openhacks.com/uploadsproductos/rain_sensor_module.pdf
- R.BELOHLAVEK, J. (2011). CONCEPTS AND FUZZY LOGIG. In J. R.BELOHLAVEK, *CONCEPTS AND FUZZY LOGIG* (p. 287). London: Massachusetts Institute of Technology.

R.Espin. (2014). *LA TOMA DE DECISIONES EN EL PROCESO DE CONCERTACIÓN DE UN NEGOCIO, BASADO EN LÓGICA DIFUSA COMPENSATORIA*. LA Habana: Editorial Universitaria.

Robotics. (2015, marzo 14). *Robotics*. Retrieved from <https://www.tertiaryrobotics.com/dht11-temperature-and-humidity-sensor-module-for-arduino-singapore.html>

Sanmartin A, K. S., & Alvarez, K. A. (2018). *Diseño de una red con sensores inalambrica (WSN) con un protocolo abierto de comunicacion basado en IEEE 802.15.4 (XBEE) para practicas universitarias(Tesis de pregrado)*. Universidad Politecnica Salesiana, Guayaquil. Retrieved from revista: <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tia/article/download/4437/6856/>

SENPLADES. (2013-2017). *AGENDA ZONA 1*.

Sobrino, Barro. (1993). *Estudios de Logica Borrosa y sus Aplicaciones*. La Coruña: Universidad de SANTIAGO de Compostela.

SPAINLABS. (2017, Agosto 6). *SPAINLABS*. Retrieved from SPAINLABS: https://www.spainlabs.com/wiki/Arduino#Arduino_Leonardo

Sparkfun. (2015). *sparkfun*. Retrieved from <https://www.sparkfun.com/products/retired/10419>

Stallings. (2008). *Redes de Computadoras*. Madrid: PEARSONEDUCACIÓN,S.A.

Universo, E. (2016, Noviembre Martes). *El Universo*. Retrieved from <http://www.eluniverso.com/tendencias/2016/11/29/nota/5928832/sistemas-riego-complementan-actividad-agricola>

- Villalba, Ramon. (2012). *Desarrollo de sistemas con metodologia RUP (trabajo de pregrado)*. Computacion. Mexico: Universidad Autonoma de la ciudad de Mexico.
Retrieved from
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/175/A4%20Cap%C3%ADtulo%201.pdf?sequence=4>
- W.Stallings. (2008). *Redes de Computadoras*. Madrid: PEARSONEDUCACIÓN,S.A.
- Xavo. (2013). *logicadifu*. Retrieved from <http://logicadifu.blogspot.com/>
- Ying, H. (2000). *Fuzzy Control and modeling*. Retrieved from IEEE:
www.ece.eng.wayne.edu/~hying/Ying's_book_frontmatter.pdf
- Arduino (2018) *Compare board specs, 2018*. Available at:
<https://www.arduino.cc/en/products.compare>.
- Ceruto, T. *et al.* (2014) ‘Mining medical data to obtain fuzzy predicates’, in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, pp. 103–117. doi: 10.1007/978-3-319-10265-8_10.
- Hernández Navarro, M. L. (2017) ‘La agroclimatología: instrumento de planificación agrícola’, *Geographicalia*, (30), p. 213. doi: 10.26754/ojs_geoph/geoph.1993301819.
- Jonathan, R. C. *et al.* (2014) ‘Performance evaluation of irrigation techniques through the implementation of a fuzzy logic system’, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(7), pp. 1087–1093.
- Mikkelsen, K. S. (2017) ‘Fuzzy-set Case Studies’, *Sociological Methods and Research*, 46(3), pp. 422–455. doi: 10.1177/0049124115578032.

Mouser Electronics (2011) 'DHT11 - Humidity and Temperature Sensor', *Datasheet*, pp. 1–7. Available at: <https://www.mouser.com/ds/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version->

Novák, V. (2017) 'Fuzzy Set', in *Encyclopedia of Database Systems*, pp. 1–2. doi: 10.1007/978-1-4899-7993-3_5008-2.

Russell, S. and Norvig, P. (2014) *Inteligencia artificial Un enfoque Moderno*, PEARSON Prentice Hall. doi: M-26913-2004.

Saigua Carvajal, S. F. *et al.* (2017) 'Evaluación de las topologías físicas de redes WSN para la medición de variables ambientales', *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(1), p. 159. doi: 10.26423/rctu.v3i1.84.

Sobrino, A. (2013) 'Fuzzy Logic and Education: Teaching the Basics of Fuzzy Logic through an Example (by Way of Cycling)', *Education Sciences*, 3(2), pp. 75–97. doi: 10.3390/educsci3020075.

Stallings, W. (2014) 'Network organization and topologies', in *Computing Handbook, Third Edition: Computer Science and Software Engineering*, pp. 45-1-45–20. doi: 10.1201/b16812.

Vera, A. M. *et al.* (2015) 'Análisis de factores medioambientales condicionantes de la inocuidad de hortalizas cultivadas y consumidas en el área rural de Tenjo, Colombia', *Revista de la Facultad de Medicina*, pp. 57–68.

Glosario de Términos

TIC: Tecnologías de la información y Comunicación

WSN: Red de Sensores Inalámbrica.

2G,3G,4G: Evolución de las tecnologías de celular.

4G Advanced: Tecnologías de Cuarta Generación Avanzada.

LMDS: Servicio Area Multipunto Local

MMDS: Servicio Distribución Multipunto Multicanal

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

Scikit Fuzzy: librería de Python para aplicaciones de lógica difusa

Pyqt: Framework para crear interfaz graficas construida en lenguaje Python

Matplotlib: complemento para utilizar la librería scikit fuzzy.

Matlab: herramienta de investigación utilizadas amplia

SBC: Sistemas basados en conocimiento

ANEXOS

ANEXO 1: Familia de Tecnologías Inalámbricas

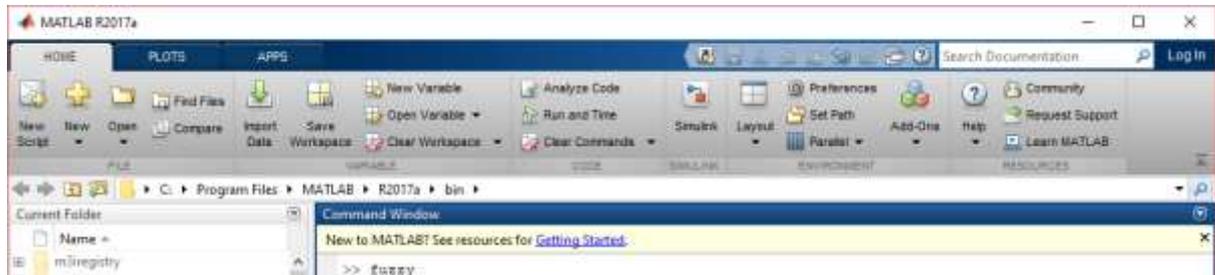
Tecnologías	Protocolo	Ver	Velocidad (bps)	Frecuencia (Hz)	Estado	Usos
WWAN	No	1G	1 a 2Kbps	800-900MHz	No está en uso	Militares
	CDMA GSM	2G	9.6Kbps 14.4Mbps	825-849MHz 1900MHz	Está en uso	servicios móviles (SMS, voz)
	GPRS				Está en uso	se agrega datos(WAP)
	EDGE	2.5G	115Kbps 384Kbps	850MHz 1900MHz	Está en uso	telefonía móvil de voz, acceso a Internet de alta velocidad, acceso fijo inalámbrico a Internet
	UMTS					
	CDMA	3G	384 y 2000Kbps	800MHz		acceso móvil web, telefonía IP, servicios de juegos, TV móvil de alta definición, videoconferencia, televisión 3D, computación en la nube
					En uso en varios países	personas y dispositivos conectados en cualquier lugar en cualquier momento
	802.16m LTE-ADV	4G	100Mbtps	700-800MHz		

			1Gbps	900MHz		
				1800MHz		
				2.3GHz		
				2.6GHz		
				2.5GHz		
					No se despliega	
					Pruebas	
	banda ancha IP	5G	1-10Gbps	3-30 GHz		
	LAN / W AN /					
	PAN &					
	WWW					
WMAN	MMDS	No	3Mbps	2.5-2.7GHz	Está en uso	Acceso a internet, cobertura 35 millas
						Acceso a internet, cobertura 5Kilometros
	LDMS	No	8Mbps	20 GHz	Esta en uso	Acceso a internet, cobertura 30-45Kilometros
					En uso	
	IEEE802.16	no	75Mbps	2-11GHz		
	Wimax					
WLAN	IEEE802.11	1G	2Mbps	2.4GHz	No esta en uso	En laboratorios estudio

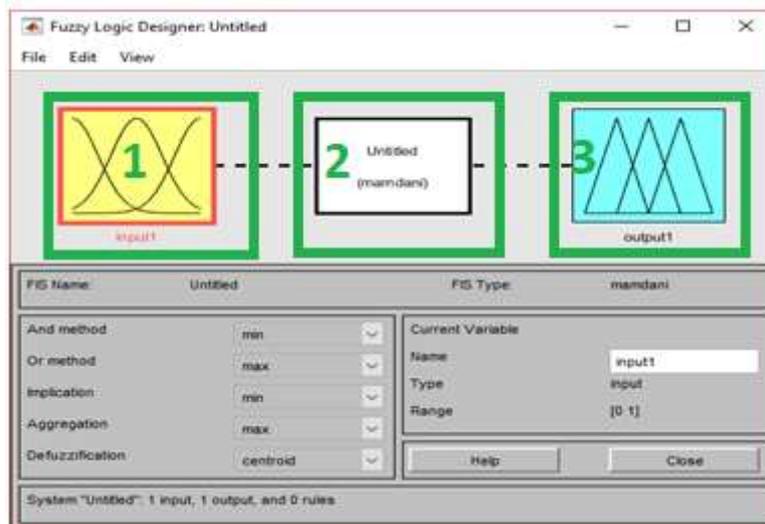
	IEEE802.11b	2G	2-10Mbps	2.4GHz	En uso	Acceso internet ambientes indoor
						Internet en ambientes indoor
	IEEE802.11a	3G	54Mbps	5GHz	En uso	Compatibilidad con tecnologías b/n
	IEEE802.11g	3.5G	2-10Mbps 54Mbps	2.4Ghz 5Ghz	Esta uso	Compatibilidad con equipos b/g
	IEEE802.11n	4G	300Mbps	2,4-2.5GHz	Actual usada	
WPAN	IEEE802.15.1 Bluetooth	3.0	24Mbps	2.4GHz	Está en uso	Compartir datos a mínima distancia
					Está en uso	Para usos médicos
	IEEE802.15.3 UWB	4.0	500Mbps	3.1-10.6GHz	Está en uso	Sistemas de diagnostico
	IEEE802.15.4 Zigbee	No	256Kbps	2.4GHz	Está en uso	Control remoto de equipos eléctricos
	IEEE802.15.4f RFID	no		2.4GHz		
WBAN	IEEE802.15.6		970Kbps	6.4-8.7GHz	Está en uso	Monitoreo de personas

ANEXO 2: Configuración de fuzzy logic en Matlab

Lo primero es abrir el programa Matlab y en la línea de comandos escribir la palabra **fuzzy**



Al presionar enter aparece una nueva ventana, esta se conoce como logicToolbox, aquí se realiza las conFiguraciones correspondientes al problema que se intenta resolver.

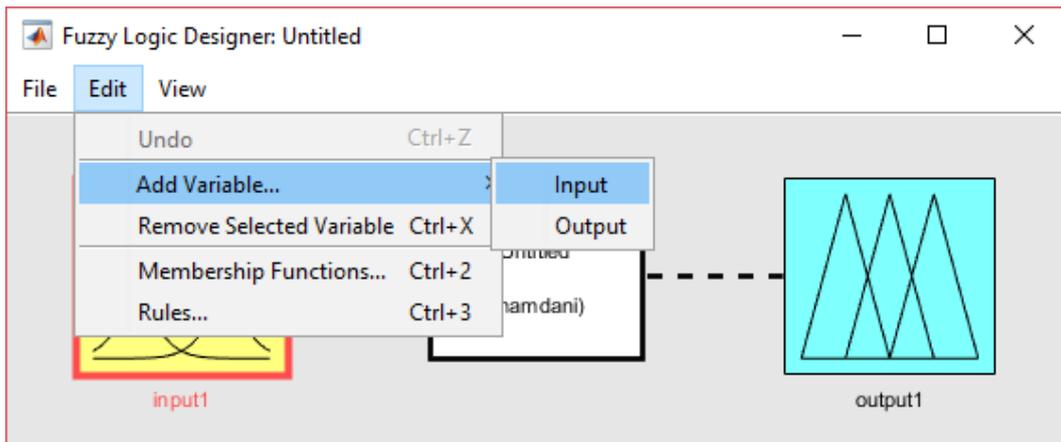


Sección 1.- se localizan las variables de entrada o antecedentes.

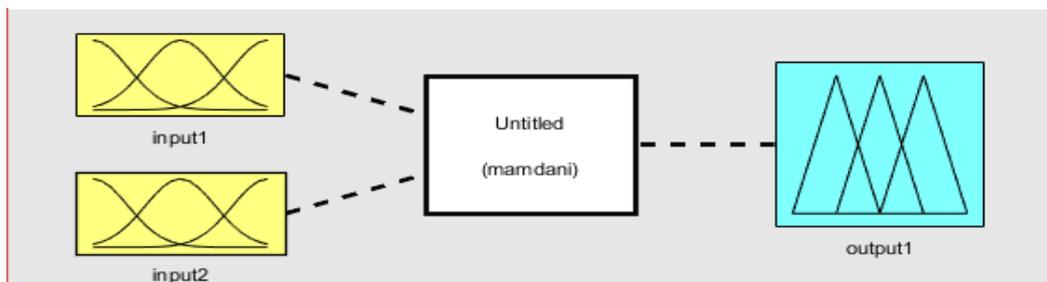
Sección 2.- se localizan las reglas difusas del controlador

Sección 3.- se localiza la variable de salida

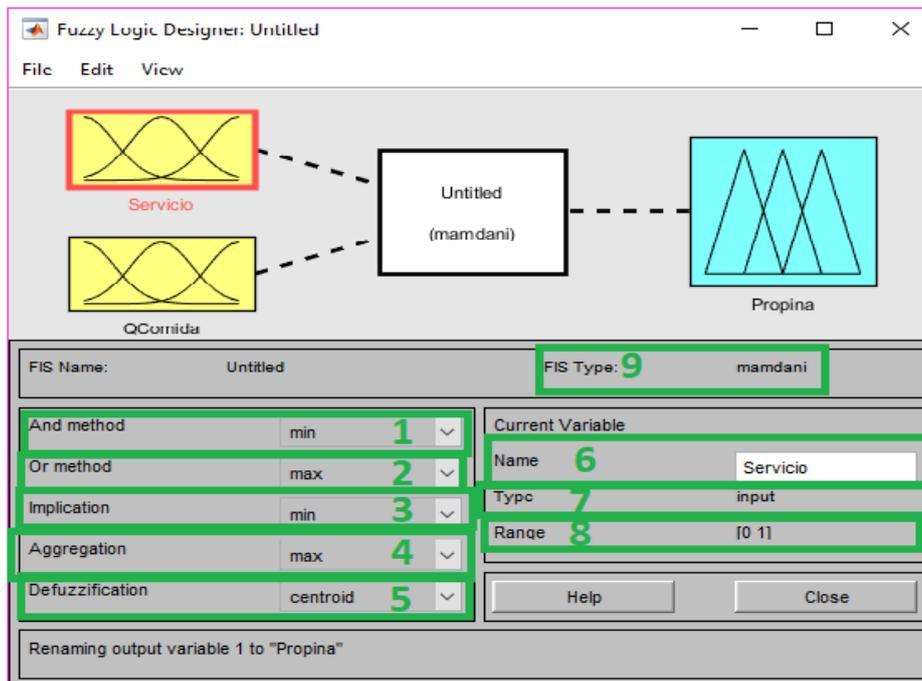
El problema requiere de dos variables de entrada, así que, esta se agrega desde el menú editar.



El sistema toma la siguiente forma.



Se realiza la configuración de los parámetros de cada variable de entrada, por lo tanto, hay que seleccionar alguna de ellas respectivamente para añadir los parámetros.



Sección 9.- método de sistema de inferencia (por el de mamdani)

Sección 1.- método del operador AND (mínimos).

Sección 2.- método del operador OR (máximos).

Sección 3.- inferencia borrosa(mínimo)

Sección 4.- etapa de agregado(máximo)

Sección 5.- método de defuzzificacion(centroide)

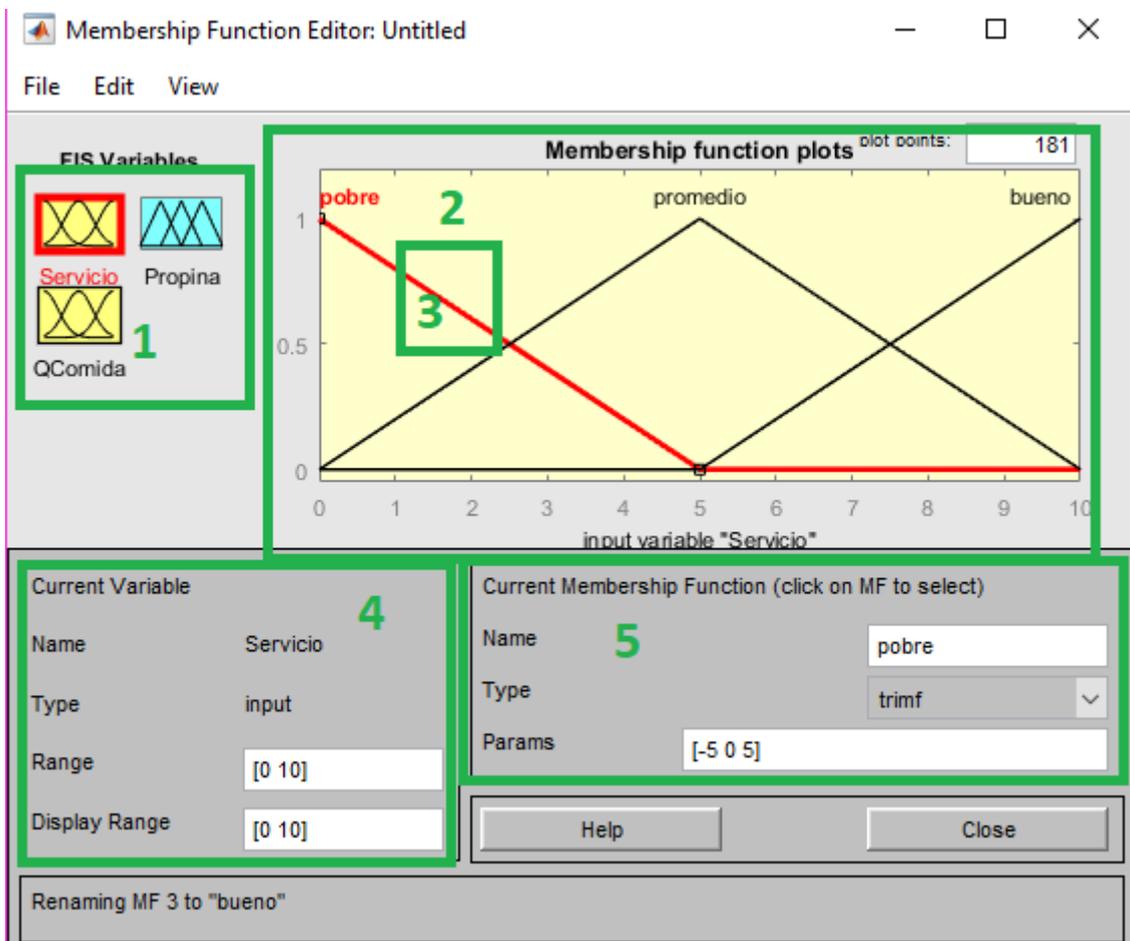
Sección 6.- nombre de la variable, universo de discurso. Al ser dos variables la primera es el servicio y la segunda la calidad de la comida.

Sección 7.- tipo de variable(entrada).

Sección 8.- el rango en lógica difusa va de [0 1].

En este instante se procede a conFigurar cada función de membrecía de su respectiva variable,

Presionar con el mouse en la primera variable de entrada, en este caso es servicio.



Sección 1.- se encuentran todas las variables de entrada y de salida hacia el controlador, variables de entrada en color amarillo(Servicio,QComida), y de salida de color azul(Propina).

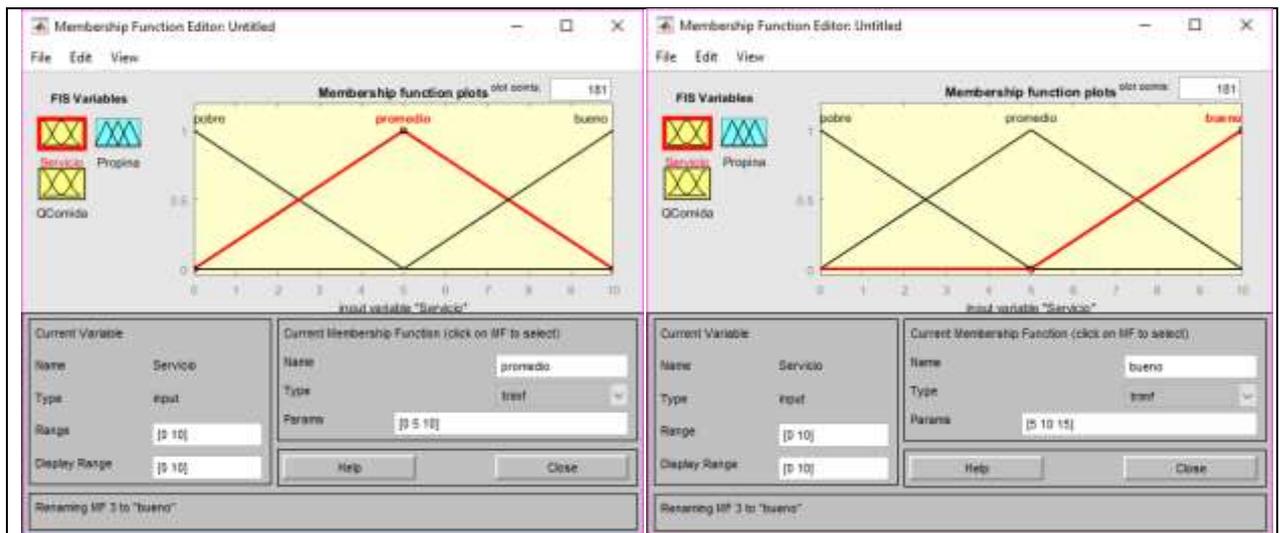
Sección 2.- representa la función de membrecía en este caso de la variable Servicio y todos sus subconjuntos(pobre, promedio, bueno).

Sección 3.- en la sección 2 se aprecia una línea roja y representa al conjunto marcado, en este caso es el conjunto pobre.

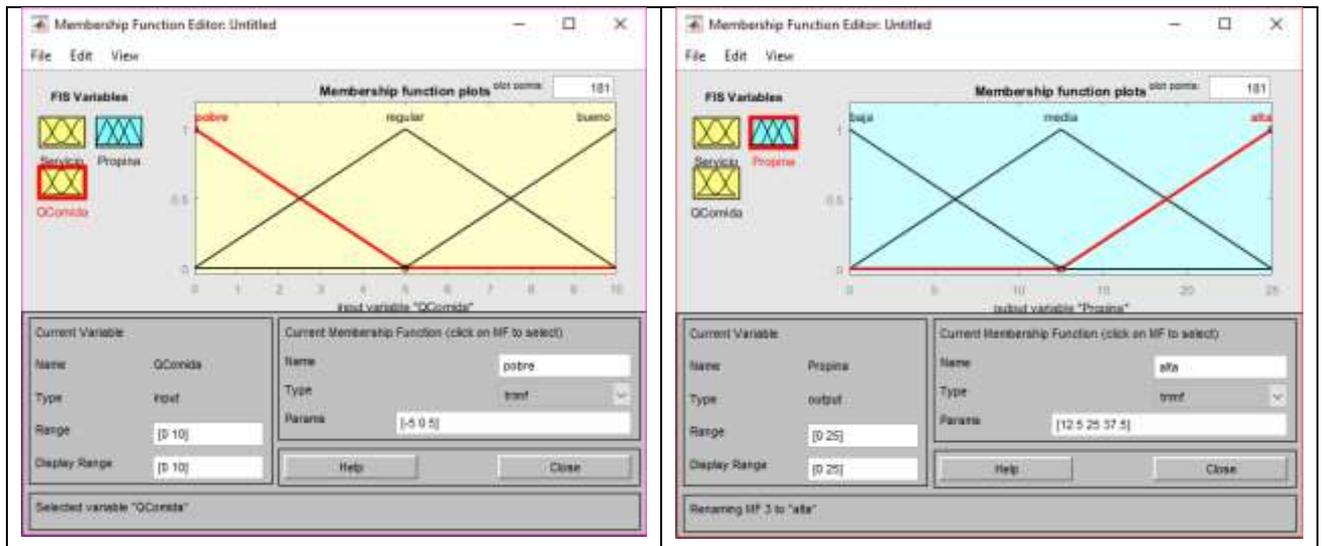
Sección 4.- proporciona más información detallada del conjunto, nombre de la función de pertenencia al que pertenece (Servicio), nombre del conjunto(bajo), rango, hay que recordar que el servicio está calificado con un valor que toma de 1-10, se podría deducir que si el valor se encuentra por debajo del promedio de calificación (5), el valor de bajo será de 0-5, 5 sería el valor promedio, y mayor que este valor se aproxima a bueno.

Sección 5 .- proporciona información acerca de la función de membrecía seleccionada, nombre conjunto (pobre), el tipo trimf(forma triangular, y en el campo de parámetros se encuentran los valores límites de ese conjunto para representarlo en el gráfico.

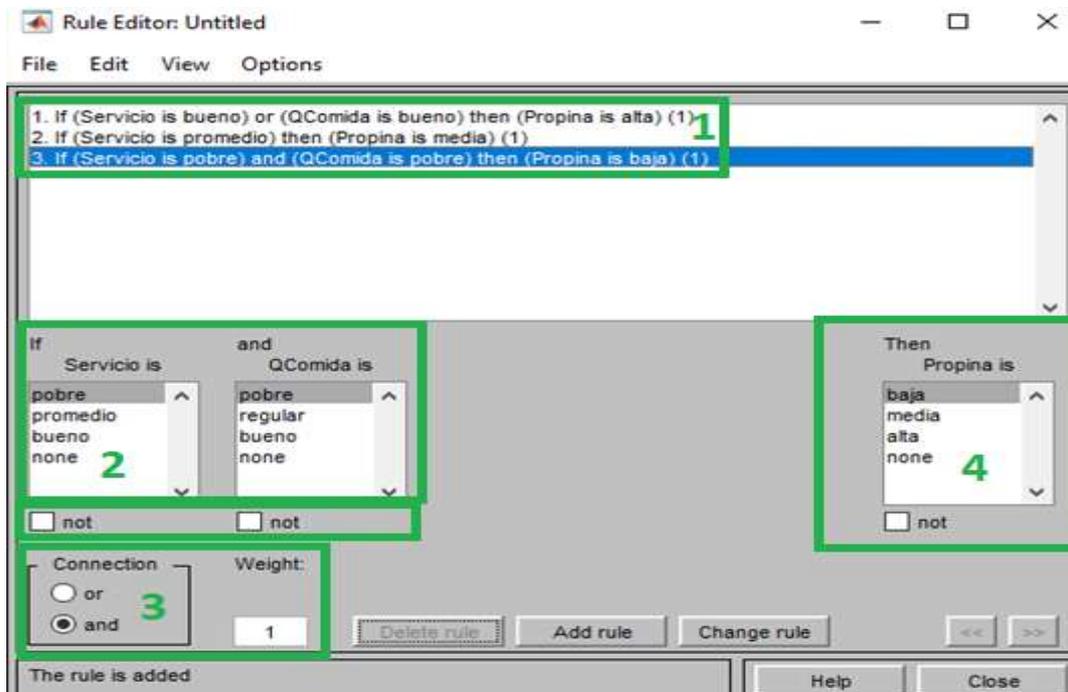
Realizar los mismos pasos para los siguientes conjuntos



El mismo procedimiento para cada función de membrecía que resta, donde, al final quedara así:



Finalmente queda por agregar las reglas difusas, donde el programa se encarga de realizar las operaciones entre cada conjunto, para eso dirigirse al menú edit y luego rules, muestra una ventana mas, este representa la forma en la que se añaden las reglas.



La ventana describe lo siguiente:

Sección 1.- Son las reglas creadas que han sido añadidas al controlador.

Sección 2.- son las diferentes grupos de conjuntos que pueden generar una regla combinandse entre ellos.

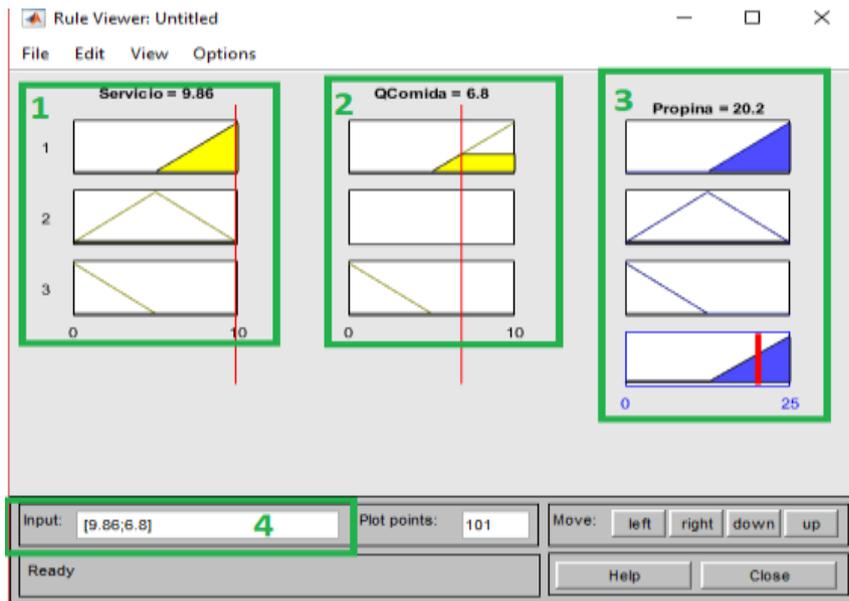
Sección 3.- se indica los dos operaciones que se desean aplicar Or(o) para O y AND para IF(si).

Sección 4.- presenta la función que se debe realizar cuando cumple la regla.

Ahora es el momento de observar el resultado, el paso siguiente es acceder al menú view de la primera ventana y seleccionar rules.



Aquí se muestra el resultado de las operaciones entre los diferente conjuntos de entrada y de salida, indica que valor de salida de la propina se necesita cuando se tiene una valor de servicio de 9.86 y una calidad de comida de 6.4.



Sección 1.- grafica del servicio cuando este equivale a un valor de 9.86

Sección 2 .- grafica de Calidad de comida cuando este equivale a un valor de 6.4

Sección 3 .- grafica del resultado de operación entre la sección 1 y sección 2, el resultado es 20.2%.

ANEXO 3: Fichas de observación directa

<i>Ficha de observación</i>	
FICHA N° 1	Fecha y duración: 28 de Febrero del 2018 de 8: 40 a 12:30
ELABORA:	Leandro Joel Salazar Cárdenas
Lugar:	Granja Experimental La Pradera
Palabras clave:	Granja, agrícolas, hortalizas
LO OBSERVADO	REGISTRO AGRONÓMICO
<p>Área de producción Agrícola</p> <p>Área de crianza de animales avícolas y ganaderos</p> <p>Área de cultivo de pastos</p> <p>Área de cultivo hortalizas</p> <p>Invernadero</p>	<p>8:45 A.M. saliendo de la ciudad de Ibarra hacia la Granja Experimental la Pradera en transporte público, ingresando a la parroquia de Chaltura, con un tiempo estimado de 40 minutos se encuentra situada la entrada principal hacia La Granja Experimental La Pradera. Este lugar es muy extenso por la cantidad de actividades agrícolas que realizan los estudiantes, los docentes y los trabajadores internos, tales como: crianza de animales avícolas y ganaderos, cuidado de animales y plantas en peligros de extinción, cultivo de pastos y cereales, : . y específicamente un área destinada para el cultivo de hortalizas.</p> <p>10:30 A.M, se observa tres trabajadores laborando en diferentes áreas, uno de ellos se encarga de alimentar a la parte avícola y ganadera, el segundo trabajador transporta la carga pesada</p>

El agua	<p>como alimentos y químicos solicitados en alguna producción por medio de la maquinaria pesada, el tercer trabajador se moviliza hacia una represa grande de agua la cual es destinada para muchos usos, uno de ellos es el área de cultivos de hortalizas. Con ayuda de la persona que Administra el lugar se solicita cordialmente la autorización de ingresar exclusivamente al área de cultivo de hortalizas, al estar próxima a esta zona se pudo notar la gran variedad de hortalizas las cuales se apreciaban en un estado</p>
---------	--

<i>Ficha de observación</i>	
FICHA N° 2	Fecha y duración: 28 de Febrero del 2018 de 1: 00 a 4:00 PM
ELABORA:	Leandro Joel Salazar Cárdenas
Lugar:	Granja Experimental La Pradera
Palabras clave:	Hortalizas, técnicas, inconvenientes
LO OBSERVADO	REGISTRO AGRONÓMICO
El número de parcelas con hortalizas.	13:00 PM, se procedió a contabilizar el número de parcelas que actualmente se encuentran en estado de producción de forma empírica, sin embargo, un docente proporciono la información

<p>Hortalizas como lechuga, col, culantro, ajo, y otros</p> <p>El proceso de Riego</p> <p>Suministro de agua</p>	<p>más a detalle y manifestó que existe un informe digital que contiene datos más específicos, por ejemplo: el nombre de cada hortaliza y sus dimensiones, el número total de parcelas y precisamente el tipo de riego que están aplicando. Uno de los aspectos de mayor enfoque es identificar la técnica de riego que está en operación, la cual se pudo evidenciar según el entorno; riego por aspersión para hortalizas a campo abierto y riego por goteo para cultivos en el interior de un invernadero, las cuales se conocen como métodos convencionales. Se procedió a supervisar algún inconveniente ocasionado por el uso de estas técnicas, donde precisamente se descubrieron varios de ellos, por ejemplo: encharcamientos causados por riegos en horarios inadecuados, un desnivel en el crecimiento de las hortalizas por una distribución no uniforme del agua sobre la parcela, entre otros.</p>
--	---

<i>Ficha de observación</i>	
FICHA N° 3	Fecha y duración: 3 de Marzo del 2018 de 9: 00 a 13:00 PM
ELABORA:	Leandro Joel Salazar Cárdenas
Lugar:	Granja Experimental La Pradera
Palabras clave:	debilidades, evidencia, inversión

LO OBSERVADO	REGISTRO AGRONÓMICO
<p>Calidad de la hortaliza</p> <p>Inconvenientes en el área de hortalizas</p>	<p>9:00 AM, Anteriormente se diferenciaron las debilidades del uso de las técnicas de riego convencionales aplicadas en las hortalizas, este aspecto es esencial porque implica directamente en su evolución. Esta mañana se enfatizó sobre la fragilidad de las técnicas de riego convencionales que afectan en gran parte a la calidad de las hortalizas, el primer efecto se presentó en un tamaño de la hortaliza desnivelado de toda la parcela; la segunda evidencia se apreció en la descomposición de ciertas hojas de lechugas, ocasionadas por el excesivo consumo de agua por parte de la planta a través de su raíz.</p> <p>Finalmente, se verificó que las técnicas de riego convencionales son flexibles al momento de aplicarlas, ya que no requieren de un alto nivel de conocimiento para su instalación y manejo, del mismo modo reduce su inversión económica lo que las convierte en las técnicas más aprovechadas en sistemas de riego.</p>

ANEXO 4: Cuestionario realizado al docente experto.

1.- ¿Qué factores consideraría ud más importantes en una producción de hortalizas?. Puede elegir más de uno.

- Situación Geográfica
- El tiempo
- El sistema de riego
- El tipo de cultivo
- Recursos Económicos

2.-¿Que problemas se presentan con mayor frecuencia en el desarrollo de hortalizas?. Puede elegir más de uno.

- Control de plagas
- Encharcamientos y empacamientos de agua
- Control de malezas.

3.-¿Cuáles de los siguientes factores meteorológicos son influyentes en un cultivo de hortalizas?

- Temperatura Ambiente
- Velocidad de Viento.
- Precipitación
- Humedad del ambiente
- Disponibilidad de acceso al agua.
- Nivel de contaminación del agua.

4.- Según su experiencia, ¿Qué porcentaje considera Ud que tiene el riego en la producción de un alimento?

- 50 %
- 75%
- 80%
- 100%

5.- En el proceso de riego de un cultivo, ¿Cuál es el desperdicio de agua que existe?

- Mucho
- Considerable

- Poco Considerable
- Ninguno

6.- Que alternativas considera ud pueden mejorar el desperdicio de Agua en un cultivo.

- Aumentar las fuentes de acceso de agua.
- Disminuir la cantidad de agua para riego.
- Mejorar las técnicas de las buenas practicas agropecuarias.
- Mejorar la técnica de riego.

7.- ¿Actualmente la granja cuenta con un sistema de riego?

- Si
- No

8.- Si la anterior pregunta contesto Si, ¿Cree que si se ha disminuido la cantidad de desperdicio de agua?

- Si
- No

9.- Si la pregunta es si ¿Que método de riego actualmente en la Granja se esta utilizando?

- Manual
- Sistema de riego Automático.
- Sistema de riego inteligente

10.- ¿Conoce la cantidad de agua que consume el sistema de riego actual?

- SI
- NO

Cuantos_____ metros cubicos

11.- ¿Está de acuerdo en que se debe aplicar un control al momento de disponer el agua para los cultivos?

- SI
- NO

12.- ¿Cree que aplicando una técnica inteligente al sistema de riego, se podría mejorar la eficiencia en el consumo de agua?

- SI
- NO

13.- ¿Cuál es el grado de importancia de la presencia de un operador de riego en la ejecución del riego?

- Alto
- Medio
- No es importante

14.- ¿Que tan confiable considera Ud que un sistema de riego puede trabajar sin la presencia del operador?

- Muy Confiable
- Poco Confiable
- No es confiable.

15.- Para Ud. ¿Qué tanto podría aportar un sistema de riego inteligente en la etapa de producción de un cultivo de hortalizas?

- Mucho
- Regular
- Casi Nada.
- Nada.

ANEXO 5: Distribución de Hortalizas en la Granja.

Nombre Hortaliza	Dimensiones (centímetros)	# cama
Zuchinni	2 hileras de 50 cm y 1 de 40 cm	1
Culantro	3 hileras, chorro continuo	2
Zambo	2 hileras 50 cm	2
Frejol	2 hileras 40 cm	3
Culantro	3 hileras(chorro)	3
Rábano	4 hileras(chorro)	4
Acelga	4 Hileras(chorro)	4
Remolacha	3 hileras(chorro)	5
Zuchinni	2 hileras(chorro)	5
Frejol	3 hileras 40 cm	6
Zambo	1 hilera 40 cm	6
Culantro	3 hileras(chorro)	7
Zanahoria	2 hileras(semilla)	7
Culantro	3 hileras(chorro)	8
Zuchinni	1 hilera 40 cm	8
Zambo	3 hileras 40 cm	9
Plántulas	4 hileras 20 cm	10
Culantro	3 hileras 40 cm	11
Plantulas	3 hileras 40 cm	11
Coliflor	3 hileras(chorro)	12
Culantro	Semillero 3 hileras 30 cm	12
Zambo	2 hileras 40 cm	13
Brejol	3 hileras 20 cm	13
Rabano	4 hileras chorro	14
Aji	2 hileras 40 cm	14
Coliflor	3 hileras Chorro	15
Acelga	2 hileras chorro	15
Frejol	2 hileras 30 cm	16
Col	3 hileras chorro	16
Zambo	1 hilera 40cm	17
Zuchinni	1 hilera 40 cm	17
Col	2 hileras chorro	18
Plantulas	3 hileras 40 cm	18
Zuchinni	3 plantas	19
Perejil	3 hileras(semillas)	19
Zanahoria	3 hileras 30 cm	20
Frejol	2 hileras 40 cm	20
Rábano	3 hileras choro	21
Lechuga	3 hileras(plántulas)	21
Zanahoria	3 hileras chorro	22
Frejol	2 hileras 30 cm	22
Zuchinni	1 hilera 50 cm	23
Culantro	Plántulas	23
Ají	2 hileras 40cm	24

Perejil	2 hileras 30cm	24
Col	2 hileras chorro	25
Remolacha	2 hileras chorro	25
Zuchinni	1 hilera 50cm	26
Acelga	3 hileras chorro	26
Perejil	Plántulas 30 cm	27
Rábano	3 hileras chorro	27
Frejol	2 hileras 30cm	28
Remolacha	3 hileras chorro	28
Acelga	3 hileras chorro	29
Col	3 hileras chorro	29
Culantro	3 hileras 20cm	30
Zuchinni	1 hilera 50cm	30
Zanahoria	3 hileras chorro	31
Frejol	2 hileras 30cm	31
Remolacha	Plántulas chorro	32
Ají	2 hileras 30cm	32
Rábano	4 hileras chorro	33
Perejil	Plántulas 20cm	33
Acelga	3 hileras chorro	34
Zuchinni	1 hilera 30cm	34
Culantro	3 hileras chorro	35
Col	2 hileras chorro	35
Zanahoria	Plántulas 20cm	36
Rabano	4 hileras chorro	36
Frejol	2 hileras 20cm	37
Acelga	3 hileras chorro	37
Zuchinni	1 hilera 50cm y 2 hileras 30cm	38
Col	Chorro	39
Aji	3 hileras 20cm	40
Culantro	3 hileras chorro	40
Remolacha	2 hileras chorro	41



PROAÑO Culantro 3 hileras chorro continuo	CARLOSAMA Zambo 2 hileras 50cm	ACOSTA zanahoria 3 h chorro	fréjol 2h 30cm
ALMEIDA Fréjol 2 h 40 cm	AZA Culantro 3 h chorro	PROAÑO zuchinni 50 cm 1h	culantro plántulas
GARCÍA rábano 4 h chorro	SÁNCHEZ acelga 2h chorro	CARLOSAMA Ají 40 cm 2h	Perejil 30 cm 2h
CEVALLOS remolacha 3h chorro	QUIMBIULCO Zuchinni 2 h 50 cm	ALMEIDA COL 2h chorro	Remolacha 2 h chorro
MOSQUERA Fréjol 3h 40 cm	FLORES Zambo 1 h 40 cm	AZA Zuchinni 1h 50 cm	Acelga 3h chorro
GRIJALVA Culantro 3h chorro	LOMAS Zanahoria semilla 2 h	SÁNCHEZ Perejil plántulas 30cm	Rábano 3h chorro

RODRÍGUEZ culantro 3h chorro	ALEMÁN zuchinni 1 h 40 cm	GARCÍA Fréjol 2 h 30 cm	Remolacha 3h chorro
CABEZAS Zambo 2h 40 cm	VINUEZA zambo 1h 40 cm	QUIMBIULCO Acelga 3h chorro	Col 3h chorro
IMBAQUINGO 4 hileras chorro	CABRERA plántulas 3h 20 cm	CEVALLOS Culantro plántulas 3h 20cm	Zuchinni 1h 50 cm
TAIMAL culantro plántulas 3 h 30 cm		MOSQUERA zanahoria 3 h chorro	fréjol 2h 30cm
CABEZAS coliflor 3 ho chorro	JÁCOME culantro semillero 3 hileras 30 cm	FLORES Remolacha plántulas chorro	Ají 2h 30cm
RODRÍGUEZ	ALEMÁN	GRUALVA	

39m

ZAMBO 2 hileras 40 cm	fréjol 3 h 20 cm	Rábano 4h chorro	Perejil plántulas 20 cm
LOMAS rábano 4 hileras chorro	GRUALVA aji 2 h 40 cm	LOMAS Acelga 3h chorro	Zuchinni 1h 30 cm
MOSQUERA coliflor 3 h chorro	FLORES acelga 2 h chorro	RODRÍGUEZ Culantro 3h chorro	Col 2h chorro
CEVALLOS FRÉJOL 2h 30 cm	QUIMBIULCO col 3h chorro	ALEMÁN zanahoria plántulas 20	Rábano 4h chorro
SÁNCHEZ zambo 1 h 50 cm	GARCÍA zuchinni 1 h 40 cm	CABEZAS Fréjol 2h 20cm	Acelga 3h chorro
ALMEIDA COL 2 H chorro	AZA culantro plántulas 3 h 40 cm	JÁCOME Zuchinni 1H 50 cm	Zuchinni 2h 30cm

TAIMAL ZUCHINI 3 plantas	PEREJIL semillas 3 hileras	VINUEZA	COL 1H CHORRO
IMBAQUINGO zanahoria 3 h 30 cm	fréjol 2 h 40 cm	ACOSTA ají 3h 20 cm	MÁRQUEZ culantro 3h chorro
CABRERA Acelga 2 hileras	fréjol 1 h 30 cm	CARLOSAMA 3h	PROAÑO Remolacha 2H CHORRO

ANEXO 6: Materiales de la fuente eléctrica de la zona 1

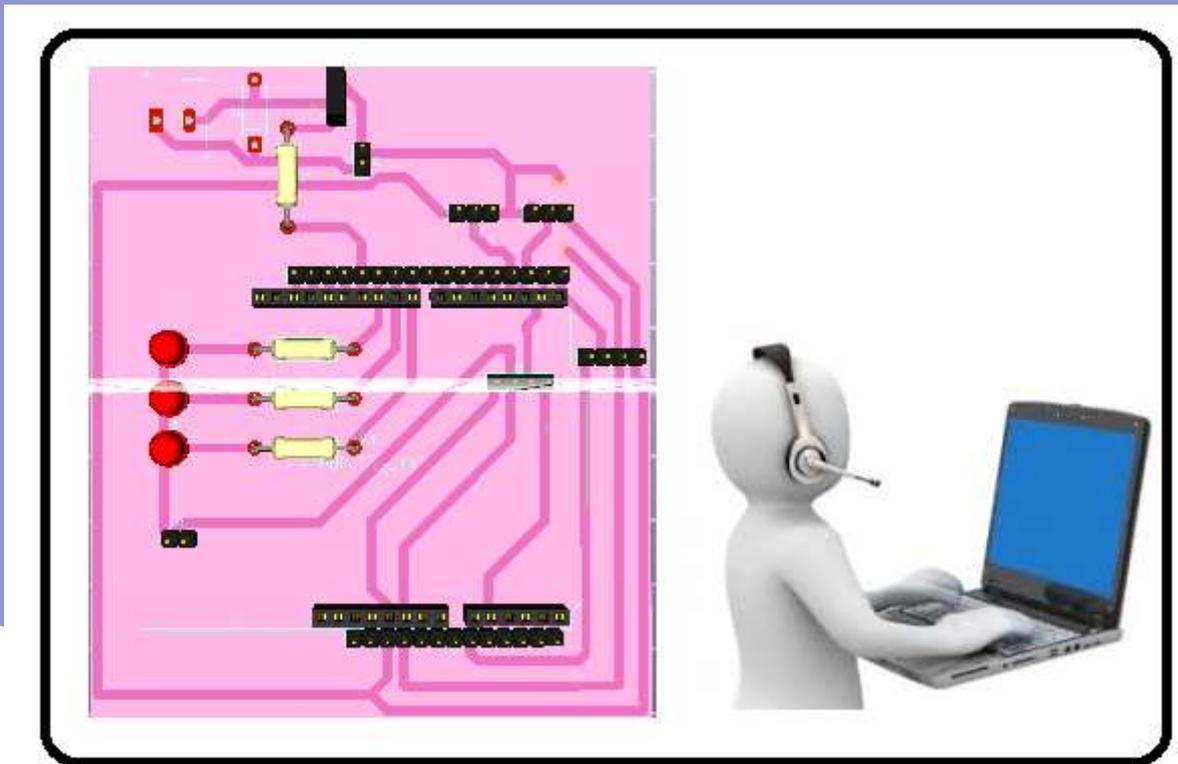
```

/*****
*\
*
*
*
Compenetes para la placa 1, fuente electrica
*
* Hardware Used
*
*   - 1 resistor 470 Ohms 1/2 W
*   - 2 resistores 330 Ohms 1/2 W
*   - 1 resistor 4K7 Ohms 1/2 W
*   - 1 regulador LM7812
*   - 1 regulador LM7809
*   - 1 regulador LM7805
*   - 1 pulsador
*   - 1 transformador de 110VAC a 24 VAC
*   - 1 Silicon Diode 1N4007
*   - 1 puente de diodos (4x1N4007)
*   - 1 Capacitor electrolitico 2200 uF/ 25 Volts
*   - 2 Capacitores electroliticos 470 uF /25 Volts
*
*   - 3 100nF/50 V Ceramic Capacitor
*   - Terminales, PCB, Cables, Soldera, estaño,
*
*   conectores lagartos, pines macho, etc.
****
*
*   Componentes de la placa 2, sheld eelectrobomba
*
****
*
*   - pines embra
*   - Molex de 2,3,4,5 entradas
*   - 3 diodos led, rojo, verde, amarillo
*   - Terminales, PCB, Cables, Soldera, estaño,
*   conectores lagartos, cables para proto pines macho
*
****

```

MANUAL TÉCNICO

SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE BASADO EN LÓGICA DIFUSA.



PRINCIPAL

Contenido

Índice de Figuras	1
Índice de Tablas	1
1. Manual Técnico	2
1.1. ESQUEMA DE UBICACIÓN / COMPONENTES ZONA 1	2
1.1.1. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES ZONA 1.	4
1.2. ESQUEMA DE UBICACIÓN / COMPONENTES ZONA 2	5
1.2.1 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES ZONA 2.	5
2. Instrucciones para el funcionamiento del sistema electrónico	7

Índice de Figuras

fig. A esquema de ubicación de los componentes de la zona 1(1).	2
fig. B. Esquema de ubicación de los componentes de la zona 1(2)	3
fig. C Esquema de ubicación de los componentes de la zona 1(3).	3
fig. D. Esquema de conexión de los componentes de la zona 2	5

Índice de Tablas

Tbla a Descripción de los componentes de la zona 1	4
Tbla b Descripción de los componentes principales de la zona 2.....	6

1. Manual Técnico

Este manual de administrador proporciona la información necesaria para la instalación, detección y corrección de fallas del sistema de riego inteligente para cultivos de hortalizas basado en fuzzy logic.

1.1. ESQUEMA DE UBICACIÓN / COMPONENTES ZONA 1

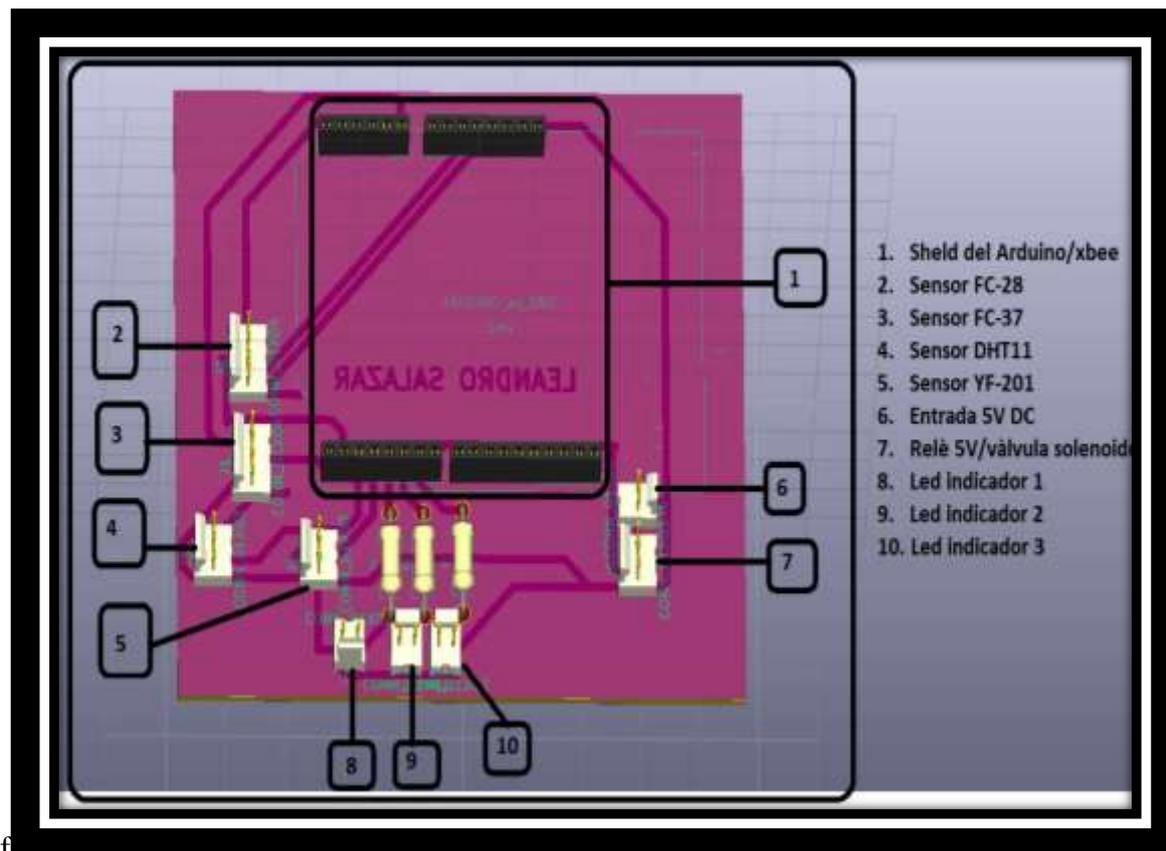


fig. A esquema de ubicación de los componentes de la zona 1(1).

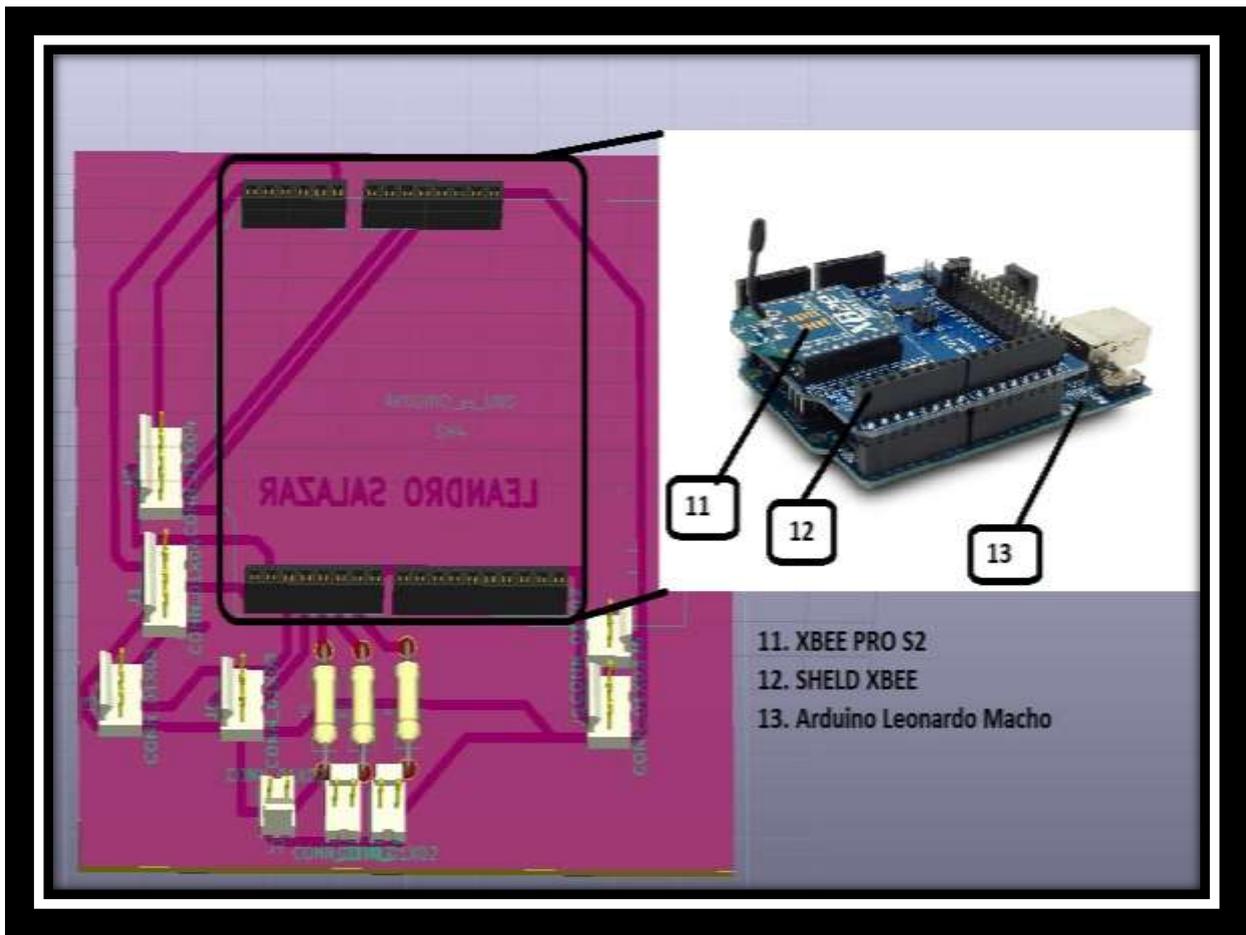


fig. B. Esquema de ubicación de los componentes de la zona 1(2)

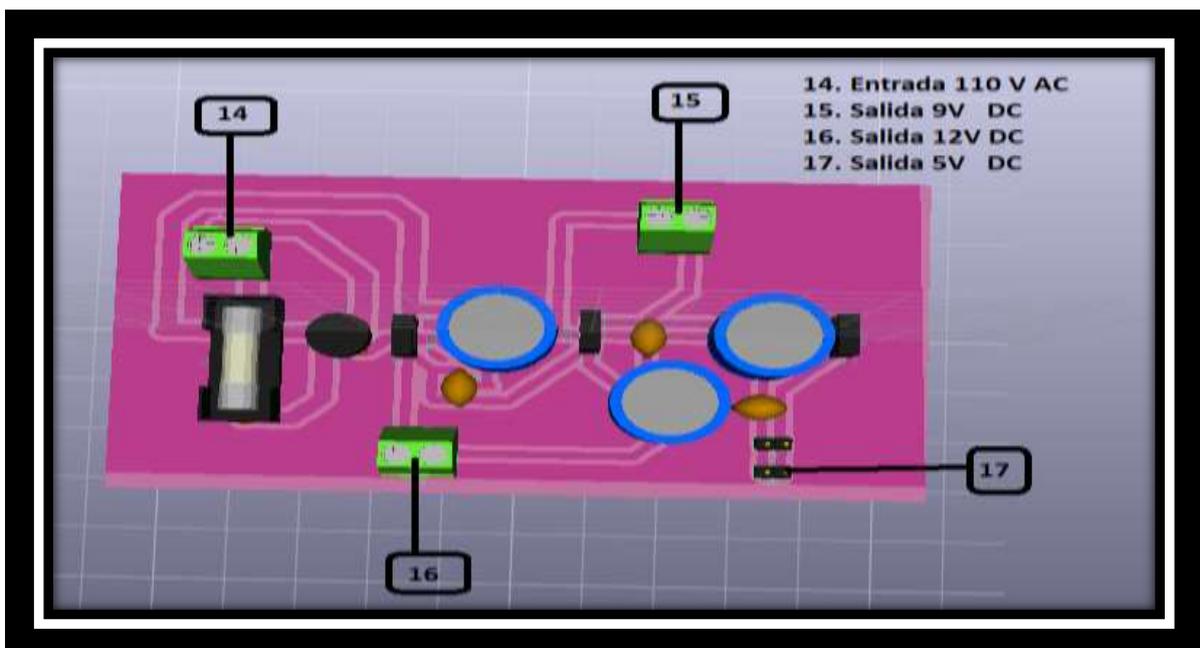


fig. C Esquema de ubicación de los componentes de la zona 1(3).

1.1.1. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES ZONA 1.

De las Figuras A, B, C se visualiza la correcta colocación de cada uno de los componentes pertenecientes a la zona 1 del sistema de riego con lógica difusa.

Tbla a

Descripción de los componentes de la zona 1

Descripción de los componentes de la Zona 1			
1	Sheld Arduino/Xbee	Similar a cualquier sheld para arduino, donde se coloca el arduino Leonardo macho, el cual se encuentra conectado al sheld del módulo xbee.	Placa 1
2	componente FC-28	un slot perteneciente para conectar el sensor de humedad del suelo	
3	componente FC-37	un slot perteneciente para conectar el sensor de Precipitación.	
4	componente DHT11	un slot perteneciente para conectar el sensor Humedad Relativa y Temperatura Ambiente.	
5	componente YF-207	un slot perteneciente para el sensor del Caudalímetro.	
6	Entrada de 5V DC	un slot que requiere de una fuente de entrada de 5 Voltios DC, utilizada para alimentar a un módulo relé con las mismas especificaciones de 5 Voltios	
7	Relé 5 V DC	un slot que conecta a un módulo relé que opere a 5 Voltios DC , el cual permute controlar actuadores, tales como: electroválvulas, motores etc.	
8	Led indicador 1	Un slot de un led que indica el estado de encendido y apagado del equipo.	
9	Led indicador 2	Un slot de un led que indica el estado de encendido y apagado de la electroválvula solenoide.	
10	Led indicador 3	Un slot de un led que indica el tiempo de riego recibido desde la zona 1	
11	XBEE PRO S2	El modulo de comunicación inalámbrica utilizado para enviar y recibir datos de forma inalámbrica de variables indispensables para el	Placa 1 mas elemento 11,12,13

		funcionamiento de este sistema.	
12	Sheld Xbee	El componente que permite una conexión simple entre el XBEE PRO S2 con el arduino Leonardo.	
13	Arduino Leonardo	El microcontrolador que conecta todos los componentes de esta zona para su respectiva manipulación.	
14	Entrada 110 V AC	Una bornera que va conectada a la red eléctrica de 110 Voltios Alternos	Placa 2
15	Salida 9 V DC	La salida de la fuente para alimentar al microcontrolador arruino.	
16	Salida 12 V DC	No se usa en este sistema	
17	Salida 5 V DC	La salida de la fuente para alimentar al módulo relé	

1.2. ESQUEMA DE UBICACIÓN / COMPONENTES ZONA 2

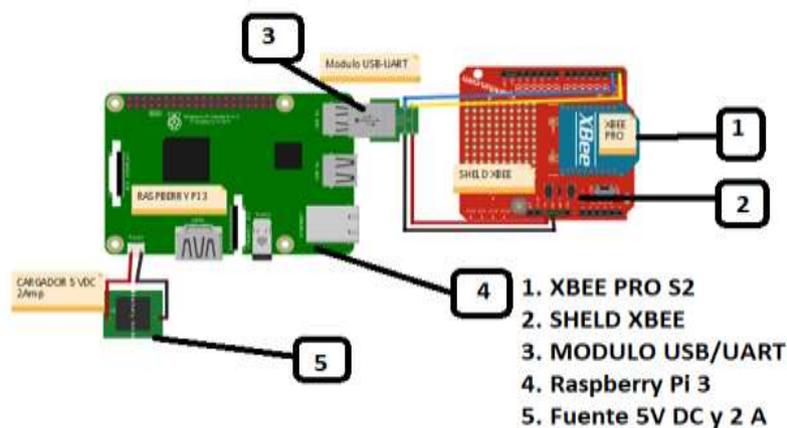


fig. D. Esquema de conexión de los componentes de la zona 2

1.2.1 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES ZONA 2.

La Figura 3 muestra la conexión correcta donde han sido colocados los componentes principales en la placa diseñada para la zona 2.

Tbla b*Descripción de los componentes principales de la zona 2*

COMPONENTES PRINCIPALES DE LA ZONA 2		
1	XBEE PRO S2	El módulo de comunicación inalámbrica utilizado para enviar y recibir datos de forma inalámbrica de variables indispensables para el funcionamiento de este sistema. *
2	SHELD XBEE	El componente que permite una conexión simple entre el XBEE PRO S2 con la Raspberry Pi 3.
3	MÓDULO USB/UART	Componente para una comunicación serial cableada, utilizada en enviar y transmitir datos entre el Modulo XBEE PRO S2 y la Raspberry.
4	Rspberry Pi 3	El componente principal de este sistema, el cual se encarga de proporcionar los datos en un formato que el operador pueda interpretar por medio de una interfaz gráfica; alimenta de energía a los componentes 1,2,3.
5	Fuente 5 V DC	La fuente de alimentación necesaria para la raspberry Pi 3, la cual debe cumplir con las especificaciones de: 5 voltios y una corriente 2 amperios en DC.

2. Instrucciones para el funcionamiento del sistema electrónico

Suministre de energía cada uno de los nodos de la red de sensores inalámbricos; cada zona tiene sus respectivas formas de ser alimentado, en la zona 1 se diseñó una fuente que proporciona la energía para el Arduino Leonardo, el cual se conecta a la salida de 9 Voltios DC de la fuente con un conector Jack macho; la alimentación de la válvula solenoide es con corriente AC, la cual proviene de una de las salidas del transformador utilizado en la construcción de la fuente, donde la cantidad que proporciona cumple con los 24 Voltios AC que necesita esta electroválvula; la salida de 5 voltios de la fuente es destinado para alimentar al módulo relé, ya que este requiere de esta cantidad para funcionar.

La conexión correcta de los sensores en la placa es en el siguiente orden: el primer componente en conectar es el FC-28, el slot de este elemento está ubicada en la parte derecha de la placa; el segundo componente en conectar es el FC 37, el slot de este elemento está ubicado en la parte inferior del slot FC-28; el tercer elemento en conectar es el elemento DHT11, el slot de este componente está ubicado en la parte inferior del slot del FC-37; el cuarto elemento es el YF-201, el slot de este componente está ubicado en la parte frontal del sensor DHT11.

El siguiente paso es conectar el Aeduino Leonardo al sheld XBEE, el cual se conecta muy simple al XBEE PRO S2, al conectarse adecuadamente estos tres componentes se obtiene un solo componente que por medio de los pines macho del arduino se integran a la placa donde están colocados los demás elementos.

Una vez completado la conexión de todos los elementos de la zona 1 se procede al encendido del este sistema mediante un interruptor que esta colocado en al parte lateral de la carcasa donde se integra toda la placa, si todo está conectado correctamente se puede evidenciar en el encendido del led indicador 1; la manera más certera de verificar la correcta de conexión es

observar detenidamente los leds que pertenecen al shield xbee, donde uno de ellos parpadea indefinidamente lo que significa que está listo para enviar y recibir datos, si esto no se cumple deberá desconectar cada una de los componentes de la fuente para evitar que sufran algún daño y dejen de funcionar, particularmente el módulo Xbee, ya que es el más costoso de adquirir.

Cuando se confirma que el sistema eléctrico de la zona 2 esta correctamente energizado se procede a ubicar los sensores meteorológicos en el lugar mas idóneo considerando el siguiente procedimiento; el sensor DHT11 se coloca en la parte superior del equipo sujeto a una base a una altura no mayor a un metro; el sensor FC-28 colocarlo muy cuidadosamente en la tierra que forma parte del cultivo, ya que es considerado el de mayor importancia; el sensor FC-37 colocarlo a una distancia de 1 a 2 metros que sea fácil de detectar la presencia de lluvia.

EL último paso en realizar en esta zona es verificar que los procedimientos anteriormente descritos se cumplan minuciosamente.

El siguiente paso es la conexión de los componentes de la zona 2, es la mas rápida de realizar por la reducida cantidad de elementos que la contiene, la manera correcta de conexión de estos componentes se describe del siguiente orden: con un cargador universal de 5 voltios con corriente de 2 Amperios se conecta a la entrada de alimentación de la Raspberry Pi 3; mediante uno de los puestos seriales de la raspberry Pi 3 conectar el elemento de comunicación serial USB/UART, esta conexión es importante, ya que sirve para alimentar al Shield con su módulo XBEE utilizando las salidas del módulo USB/UART.

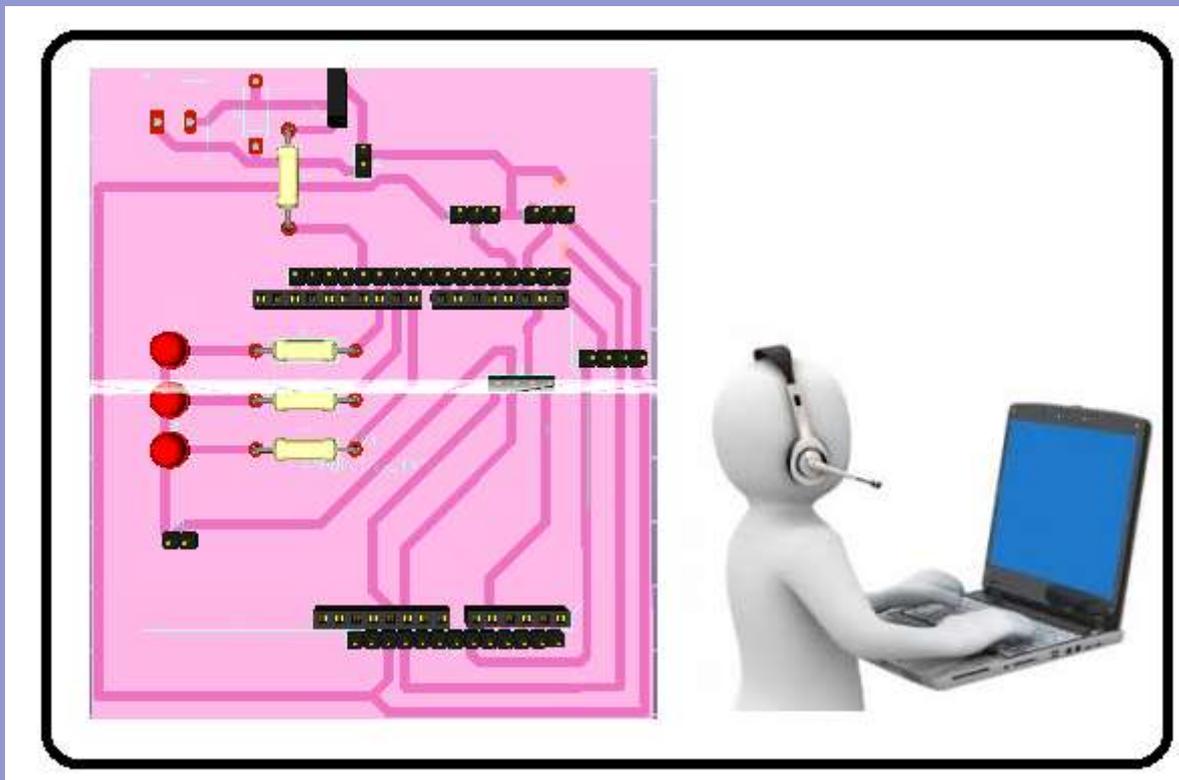
Si todo esta conectado correctamente en esta zona de la misma manera que en la zona 1, la forma propicia de comprobarlo es observando que uno de los leds del shield XBEE parpadea

indefinidamente lo que significa que está listo para enviar y recibir datos; en esta zona no es muy común que suceda algún fallo eléctrico, a menos que la conexión sea inapropiada

Con las instrucciones descritas anteriormente el paso final le corresponde al uso de la aplicación, para lo cual se decidió crear un manual dedicado solo a la configuración de la aplicación cuyo contenido se describe en la siguiente sección

MANUAL DE USUARIO

SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE BASADO EN LÓGICA DIFUSA.



PRINCIPAL

Índice

Índice de Figuras.....	2
1. Manual de Usuario.....	3
1.1. Menús que ofrece la aplicación.....	5
1.2. Menú Inicio.....	5
1.2.1. Nuevo.....	6
1.2.2. Guardar.....	6
1.2.3. Salir.....	6
1.3. Menú Herramientas.....	7
1.3.1. ConFiguración Manual.....	7
1.3.2. ConFiguración con lógica difusa.....	11
1.4. Menú Ayuda.....	13
1.4.1. acerca del sistema.....	14
1.4.2. base de datos.....	14

Índice de Figuras

figr 1. Venta inicial de la aplicación	3
figr 2. Cambios después de presionar el botón adelante	4
figr 3. Marcar la casilla para el acceso a otra ventana	4
figr 4. Ventana de conFiguración principal	5
figr 5. Funciones del menú Inicio.	6
figr 6. . Archivo creado al presionar la opción de Guardar.....	6
figr 7. Métodos de riego que dispone el sistema.....	7
figr 8. ConFiguración método manual (1)	7
figr 9. ConFiguración método manual (2)	8
figr 10. ConFiguración método manual (3)	8
figr 11. ConFiguración método manual (4)	9
figr 12. ConFiguración método manual (5)	10
figr 13. ConFiguración método manual (6)	10
figr 14. ConFiguración método manual (7)	11
figr 15. ConFiguración método lógica difusa (1).....	11
figr 16. ConFiguración método lógica difusa (2).....	12
figr 17. ConFiguración método lógica difusa (3).....	13
figr 18..Funciones del menú ayuda	13
figr 19. Estado actual de la memoria de la base de datos	14
figr 20. Información que indica no hay espacio suficiente en la memoria de la base de datos	15
figr 21. Opción de borrar los datos de la base de datos actual.....	15

1. Manual de Usuario

Cuando se ejecuta la aplicación se presenta la pantalla inicial como lo muestra la fig 1 la cual esta compuesta por dos botones como son: el de entrar y de cerrar la aplicación.



fig 1. Venta inicial de la aplicación

Al presionar el botón de entrar de la Figura 5 la ventana cambia su contenido agregándole un sistema básico de acceso a la configuración del sistema de riego, tal y como se aprecia en la fig 2.



fig 2. Cambios después de presionar el botón adelante

El siguiente paso es marcar la casilla que dice usuario de la Figura 6, tal como se muestra en la fig 3.



fig 3. Marcar la casilla para el acceso a otra ventana

Al hacerlo se procede a presionar el botón adelante, el cual muestra en la fig 4 la ventana principal de configuración de la aplicación.



figr 4. Ventana de configuración principal

1.1. Menús que ofrece la aplicación.

La pantalla principal mostrada en la Figura 8 contiene varios menús, tales como: Inicio, Hermanitas y ayuda, los cuales se explican a continuación.

1.2. Menú Inicio.

Este menú lo conforman tres opciones, tales como: Nuevo, Guardar y Salir que se muestran en la figr 9.



figr 5. Funciones del menú Inicio.

1.2.1. Nuevo

La pantalla de la figr 6 muestra la opción de reiniciar la configuración de esta venta principal.

1.2.2. Guardar

Con esta opción la aplicación en base a los datos almacenados en una base de datos instalada la Raspberry Pi los guarda y genera un archivo en formato Excel el cual se localiza en el directorio del usuario PI con el nombre de datos_riego.xlsx, tal y como se muestra en la Figura 10.



figr 6. . Archivo creado al presionar la opción de Guardar

1.2.3. Salir

Como la palabra lo dice al seleccionar esta opción la pantalla principal desaparece y regresa a la venta inicial.

1.3. Menú Herramientas.

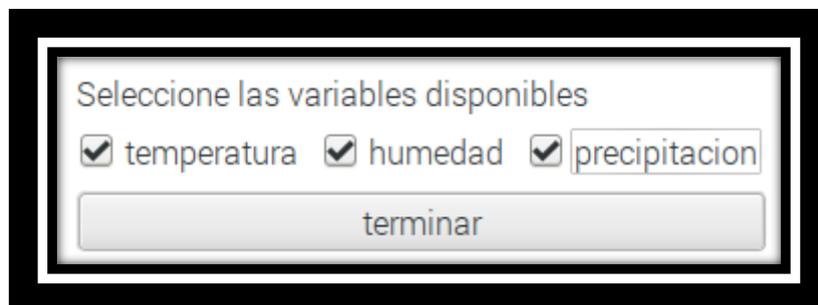
Este menú es el principal y se caracteriza por la alternativa de conFigurar los dos métodos de operación del sistema de riego, como son: manual y con lógica difusa, tal como se muestra en la figr 7.



figr 7. Métodos de riego que dispone el sistema

1.3.1. ConFiguración Manual.

Si ud escoge la opción manual se mostrará una nueva ventana que contiene las variables que dispone este sistema, tal y como lo muestra la figr 8.



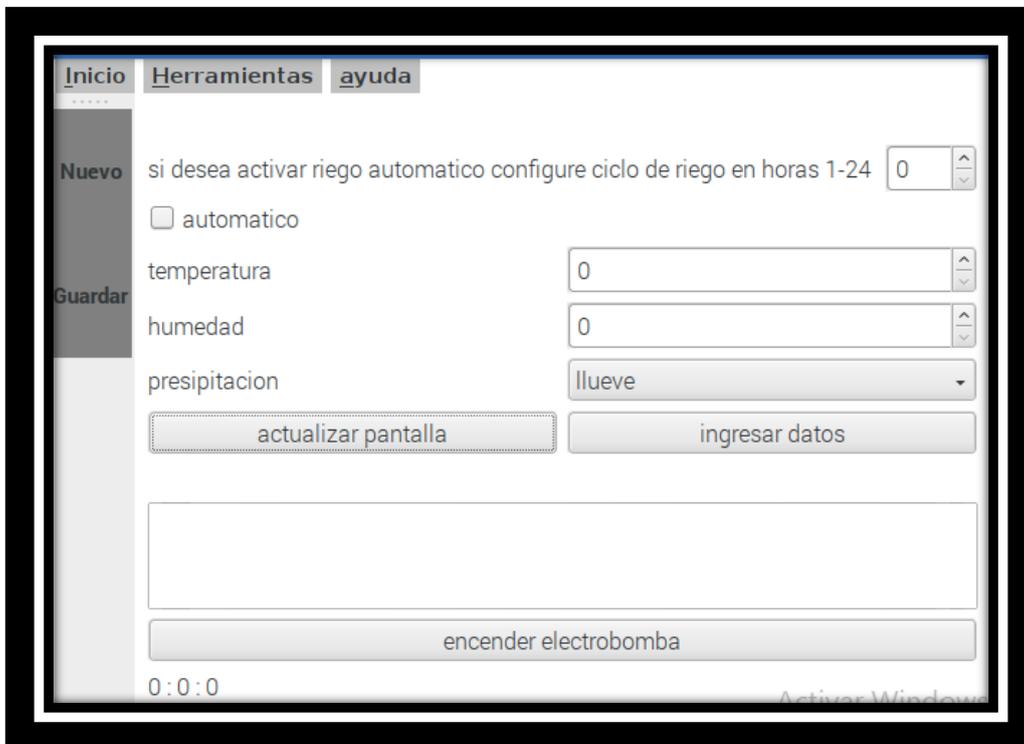
figr 8. ConFiguración método manual (1)

Debe marcar todas las casillas de la figr 8, al hacerlo procede a presionar el botón de terminar, donde podrá apreciar un nuevo botón en la pantalla principal que dice actualizar, tal como se muestra en la figr 9.



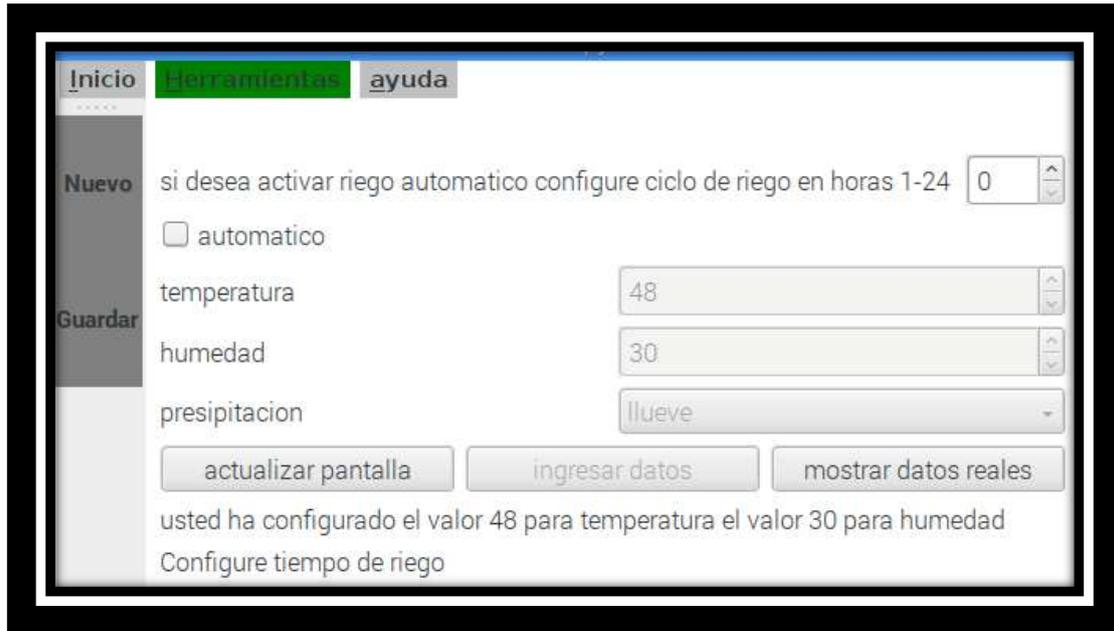
figr 9. ConFiguración método manual (2)

Al presionar sobre el botón de la figr 9 actualizar pantalla aparecen algunos campos adicionales, tal como lo muestra la figr 10.



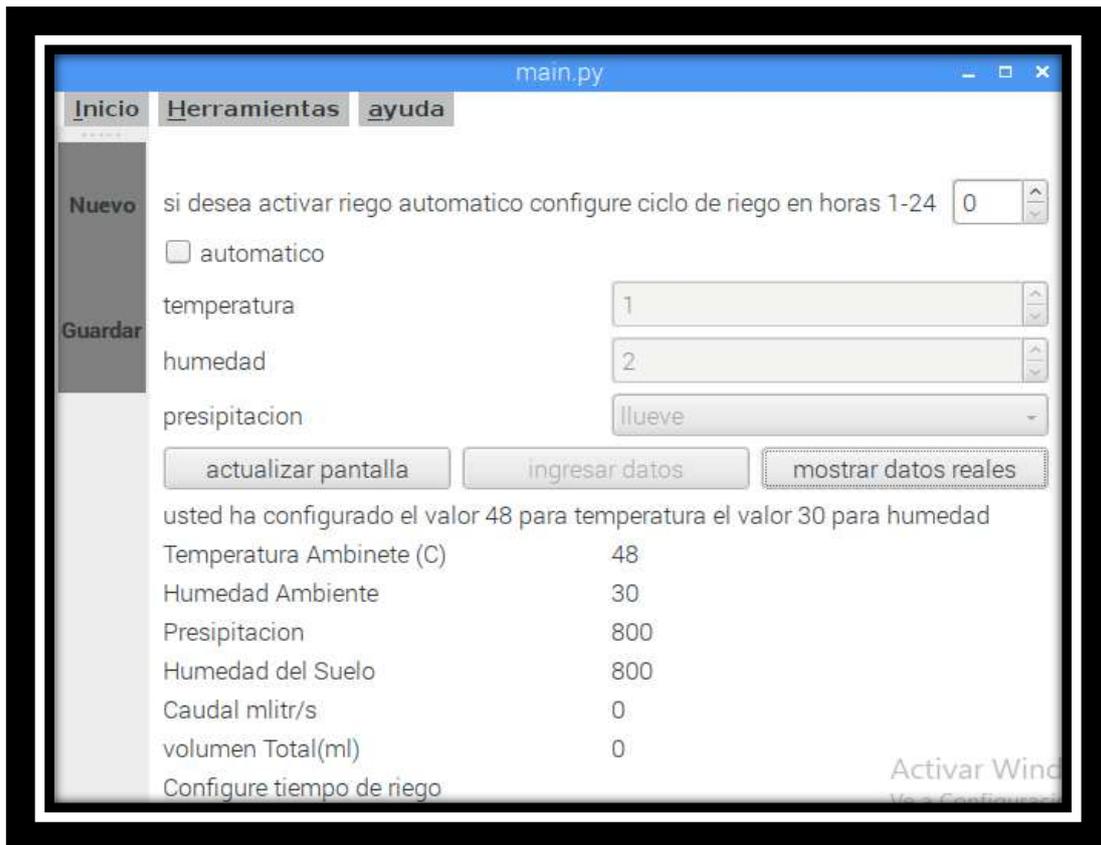
figr 10. ConFiguración método manual (3)

En los campos en blanco de la Figura 10 puede modificar los valores de las variables habilitadas en la tercera ventana de la figr 8, esto sirve como una validación necesaria para el sistema. El botón que se procede a presionar es el de ingresar los datos, al hacerlo nuevamente la ventana principal muestra otros campos, tal como se muestra en la figr 11

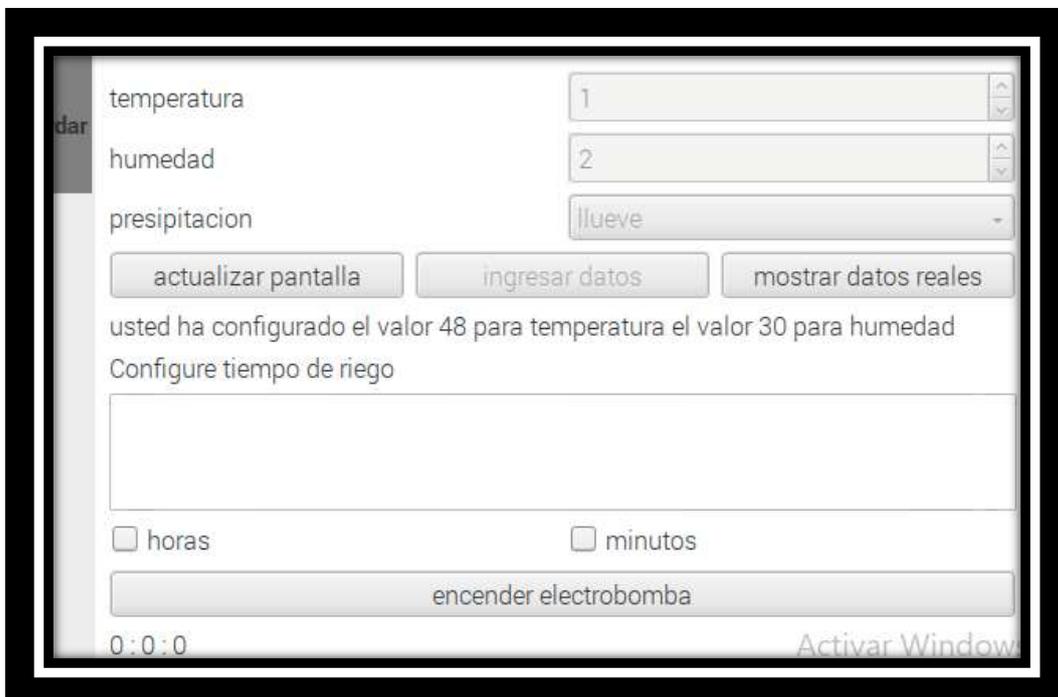


figr 11. ConFiguración método manual (4)

La utilidad de estos campos de la figr 11 es para verificar que los datos fueron llenados correctamente. El siguiente paso es presionar el botón que dice mostrar datos reales, en este caso la venta principal muestra los datos reales de las variables meteorológicas que son transmitidas desde la zona 1, tal como se muestra en la figr 12 y 13.

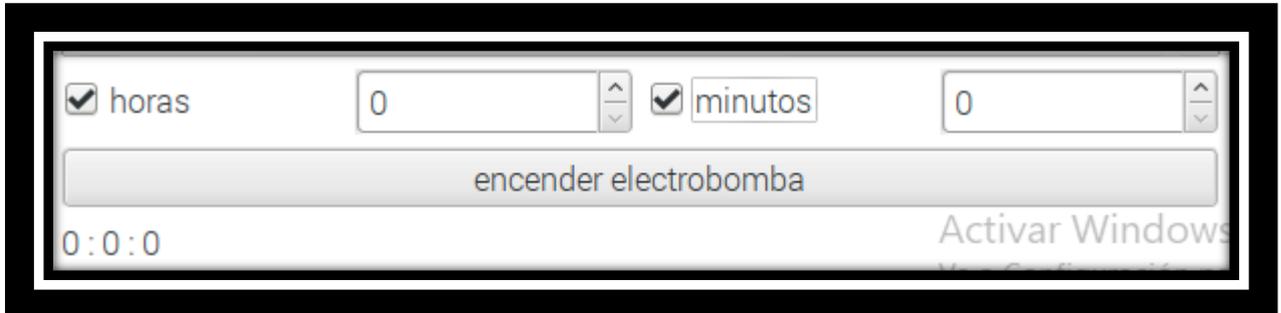


figr 12. ConFiguración método manual (5)



figr 13. ConFiguración método manual (6)

En la parte inferior de la venta principal de la Figura 13 se muestran dos casillas que deben ser marcadas y corresponden al tiempo de riego que puede modificar para que el sistema proceda a regar, tal como se muestra en la figr 14.



figr 14. ConFiguración método manual (7)

Para culminar esta conFiguración se procede a presionar el botón que dice encender electrobomba el cual se muestra en la figr 14, con esto acción obliga a la raspberry a enviar el dato que contiene el tiempo conFigurado en las casillas horas y minutos, donde finalmente es recibido por la zona 2 para que proceda a la activación de la electroválvula.

1.3.2. ConFiguración con lógica difusa.

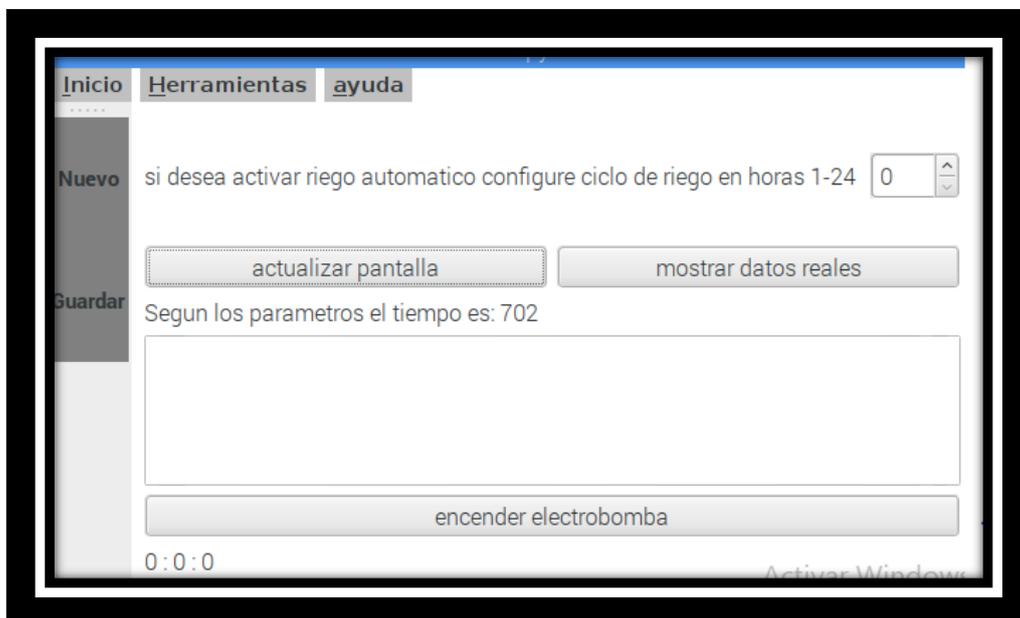
Es similar al método manual, al elegir con lógica difusa la venta nueva que aparece presenta las conFiguraciones correspondientes a las variables meteorológicas que dispone el sistema; como algo adicional esta un simple idea de la forma de opera con esta técnica, tal como se muestra en la Figura en la Figura 19.



figr 15. ConFiguración método lógica difusa (1)

La forma correcta de llenar cada campo de esta ventana se muestra de la misma manera en la figr 15. Lugo debe presionar el botón azul de la figr 15 que dice ver ejemplo para que la aplicación defina que la técnica que va utilizar en este caso es con lógica difusa, presione aceptar para terminar esta conFiguración.

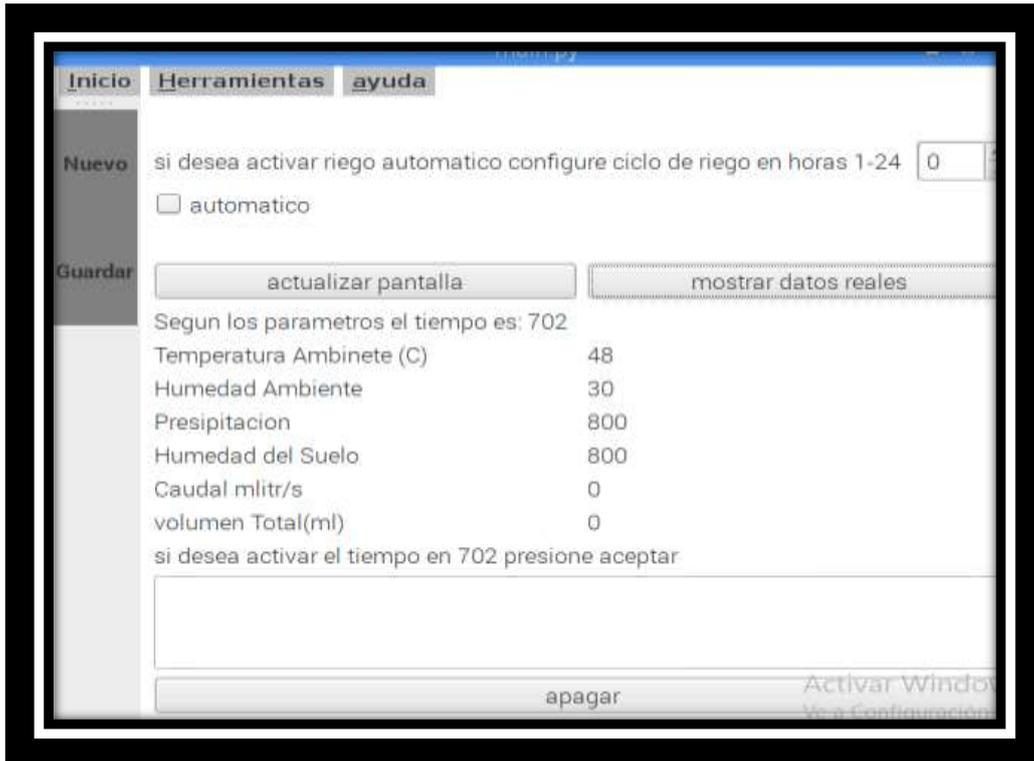
De la misma manera que el método manual al presionar el botón actualizar pantalla, la ventana principal altera algunos campos, esta vez diferentes al anterior método, ya que se trata de lógica difusa, tal como lo muestra la figr 16.



figr 16. ConFiguración método lógica difusa (2)

De la ventana de la figr 16 el primer campo que se conFigura es quien menciona la conFiguración del ciclo de riego, el cual es necesario para que el sistema establezca cada que tiempo decida regar; el rango moderado para este campo es: 6,8,12,24.

El siguiente paso es presionar el botón mostrar datos reales, al hacerlo nuevamente la venta principal cambia de contenido, tal como se muestra en la figr 17.

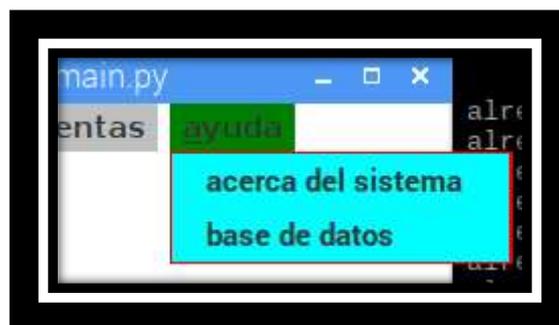


figr 17. ConFiguración método lógica difusa (3)

La venta principal de la figr 17 agrega una casilla que dice automático, donde al presionarle inmediatamente obliga al sistema de riego enviar desde la zona 2 la respuesta hasta la zona 1, respuesta que contiene el tiempo de riego calculado por el sistema difuso con los datos reales mostrados en la aplicación; la respuesta se actualiza con el ciclo conFigurado anteriormente en la casilla correspondiente.

1.4. Menú Ayuda.

Contiene las siguientes funciones: acerca del sistema y la información de la base de datos, tal como se muestra en la figr 18.



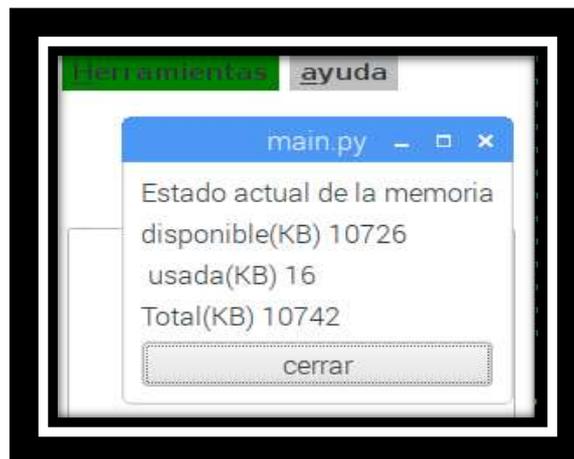
figr 18..Funciones del menú ayuda

1.4.1. acerca del sistema

Esta opción proporciona la información acerca de este manual del Administrador como el manual de usuario, el cual ha sido elaborado pensando en el operador con un contenido comprensible y claro.

1.4.2. base de datos.

Es la opción que proporciona una información sobre el estado actual de la base de datos que maneja el sistema, sabiendo que la capacidad que se dispone para almacenar datos en la base de datos es de 10 Megabits como límite, un valor considerado suficiente para este proceso, tal y como se muestra en la Figura 23.



figr 19. Estado actual de la memoria de la base de datos

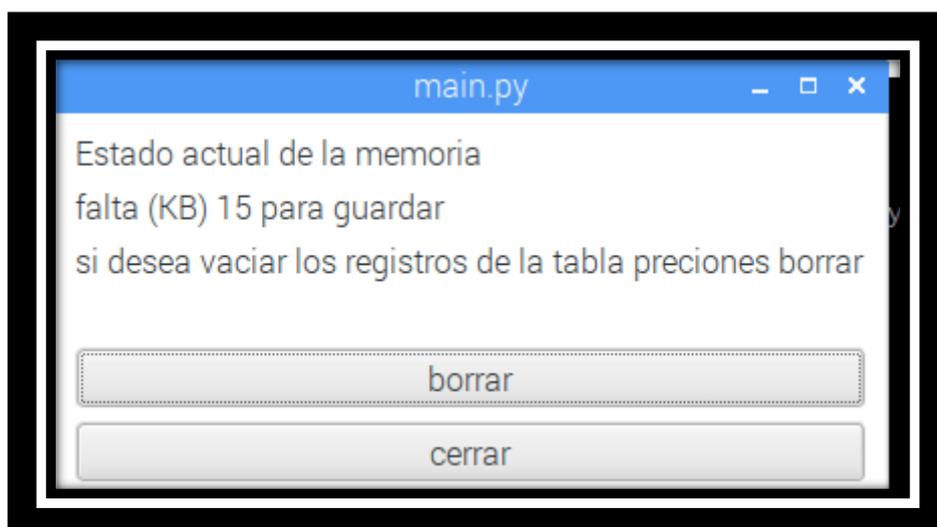
Cuando el espacio de memoria este completo, se presenta otra información en la ventalla de la base de datos, de la misma manera aparece un campo en la venta principal situado en la parte inferior que notifica insuficiente memoria disponible, tal como se muestra en la Figura 24.



figr 20. Información que indica no hay espacio suficiente en la memoria de la base de datos

Aunque no existe memoria suficiente el sistema puede conFigurarse para que funcione de forma normal, sin embargo, no va registrar ningún dato en la base de datos.

Si en caso de no contar con espacio suficiente de memoria, en la venta de la base de datos aparece otros campos los cuales permiten la opción de borrar la base de datos, que en si no la borra los datos de la base de datos, tal como se muestra en la figr 21.



figr 21. Opción de borrar los datos de la base de datos actual

Aunque antes de que presione el botón de borrar, asegúrese de guardar los datos de la base de datos para mantener los registros anteriores en un archivo de Excel. Finalmente, ya vacía la base de datos verifique si existe espacio en la memoria del sistema y proceda a cerrar la ventana de la base de datos.

ANEXO 9: Código del Arduino

```
#include "DHT.h";
int sensorInterrupt = 1;
int sensorPin      = 2;
effecto-hall
float calibrationFactor = 7.5;
volatile byte pulsos =0;
psrs el sensor efecto-hall iniciada en cero

float flowRate = 0.0;
agua
unsigned int flowMiliLitres = 0;
unsigned int totalMiliLitres = 0;
String datos = "";
unsigned int totalLitres = 0;
litros //
unsigned long oldTime = 0;
actuales.
DHT dht;
int segundos = 0;
la electrovalvula
String sensores[7];
metereologicas y del caudalimetro

const int pinlluvia = 1;
const int suelo = A0;
int valvula = 7;
electrovalvula
int xbee = 4;
mensaje desde otro sector
int on = 5;
(encendida/apagada)
int play;
riego.
char dato3[5] ;
tiempo recibidas en el siguiente formato {'1','2','3','4','5'}

//libreria del sesnor temperatura ambiente
//pin para conectar el sensor efecto-hall
// variable del tipo entera para la conexion del sensor
//factor de calibracion del sensor efecto-hall (7.5)
// variable del tipo volatile byte del numero de pulsos

//variable del tipo float para calcaular el flujo de

//variable del tipo int que almacena el volumen en

//variable del tipo long que ciuenta el numero de pulsos

//variable dht como un objeto de la libreria DHT
//primera variable que cuenta el tiempo de activacion de

//cadena que almacena los datos de todas las variables

//pin para conectar el sensor de Precipitacion
//pin para conectar el sensor de Humedad del Suelo.
//pin para conectar el modulo rele para el control de la

//pin para el indicador led que avisa si recibe un

//pin para identificar el estado de la electrivalvula

//variable que avisa el inicio del

//vector de tipo caracter que almacena los valores del
```

```

String dato_6;
siguiente forma{"1234"}

int dato_7 ;
string {"1234"} a tipo entero 1234

int t = 0;
la electrovalvula.

int humedad=0;
int z = 0;
int k= 0;
la electrovalvula.

int lluv = 0;
Precipitacion

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
datos en el PC
  Serial1.begin(9600);
comunicacion con el XBEE
  dht.setup(3); //
Temperatura Ambiente.
  pinMode(pinlluvia, INPUT);
  pinMode(valvula, OUTPUT);
  pinMode(xbee, OUTPUT);
  pinMode(on, OUTPUT);
  attachInterrupt(sensorInterrupt, flujo, FALLING);
Rising
}
void flujo()
subida
{
  pulsos++;
}
void caudal()
{
  //cadena que la variable dato3 en un solo mensaje de la

  //variable tipo entero que transforma la cadena tipo

  //segunda variable que cuenta el tiempo de activacion de

  //variable que almacena el dato de la humedad del Suelo
  //variable que almace el tiempo que si rego
  //tercera variable que cuenta el tiempo de activacion de

  //variable que almavena el valor del sensor de

  //configura la velocidad de 9600 Baudios y observar los
  //configura la velocidad de 9600 Baudios para la
  //configura el pin 3 para conectar el sensor de

  //configura el pin lluvia(1) como entrada
  //configura el pin valvula(7) como salida
  //configura el pin xbee(4) como salida
  //configura el pin on(5) como salida
  //funcion que trabaja con franco de bajada,puedes usar

  //metodo que aumenta el numero de pulsos por franco de

  //pulsos aumenta en una unidad

  //metodo para calcular el caudal y volumen

```

```

if((millis() - oldTime) > 1000) // esta ciclo se hace una vez por segundo
{
    detachInterrupt(sensorInterrupt);
    flowRate = ((1000.0 / (millis() - oldTime)) * pulsos) / calibrationFactor; //formula que calcula el flujo de
agua
    oldTime = millis(); //variable oldtimes se inicia en 1000
milsegundos
    flowMiliLitres = (flowRate / 60) * 1000; //almacena el dato del caudal en miliLitros
    pulsos = 0; //variable pulsos se inicia en 0
    attachInterrupt(sensorInterrupt, flujo, FALLING); //funcion que trabaja con franco de bajada,puedes usar
Rising
}
}
int humsuelo() //funcion que recupera el dato de humedad del suelo
{
    humedad = analogRead(suelo); //almacena el valor de humedad del suelo en la variable
    humedad //retorna el valor de humedad
    return humedad;
}
int lluvia1() //funcion que recupera el dato de Presipitacion
{
    lluv = analogRead(A1); //almacena el valor de la Presipitacion en la variable
    lluv //retorna el valor de la presipitacion en la variable lluv
    return lluv;
}
int rasp_ard() //funcion de lectura recibido por el puerto del XBEE
{
    if (Serial1.available()>0) //lectura del puerto conectado al XBEE, donde 0 que no
    exista ningun dato,ejemplo:"12345"
    {
        //proceso al recibir un dato por el puesto serial1,
        ejemplo: "12345"
        char dato_1 = Serial1.read(); //almecena la lectura del primer dato recibido por el
        puerto Serial1 en la variable dato_1 = 1
        char dato_2 = Serial1.read(); //almecena la lectura del segundo dato recibido por el
        puerto Serial1 en la variable dato_2 = 2
        char dato_3 = Serial1.read(); //almecena la lectura del tercer dato recibido por el
        puerto Serial1 en la variable dato_3 = 3
        char dato_4 = Serial1.read(); //almecena la lectura del cuarto dato recibido por el
        puerto Serial1 en la variable dato_4 = 4
    }
}

```

```

char dato_5 = Serial1.read();
puerto Serial1 en la variable dato_5 = 5
dato3[0] = dato_1;
dato3 ={'1'}
dato3[1] = dato_2;
dato3 ={'1','2'}
dato3[2] = dato_3;
dato3 ={'1','2','3'}
dato3[3] = dato_4;
dato3 ={'1','2','3','4'}
dato3[4] = dato_5;
dato3 ={'1','2','3','4','5'}
dato_6 = String(dato3);
almacena en la cadena string dato_6 = {"12345"}
dato_7 = dato_6.toInt();
tipo entero = {12345}
play = 1;
puerto del XBEE
segundos = 0;
t = 0;
z = 0;
k = 0;
digitalWrite(xbee,HIGH);
caudal();
efecto-hall = 2.0
totalMiliLitres=0;
if(dato_7==111)
electrovalvula '111'
{
digitalWrite(xbee,LOW);
operacion de riego en Bajo
play = 0;
valvula en apagado
}
}
if(play==1)
a 1
{
digitalWrite(on,HIGH);

```

```

//almecena la lectura del segundo dato recibido por el
//ingresa el dato_1 en la primera posicion de la cadena
//ingresa el dato_2 en la segunda posicion de la cadena
//ingresa el dato_3 en la tercera posicion de la cadena
//ingresa el dato_4 en la cuarta posicion de la cadena
//ingresa el dato_5 en la quinta posicion de la cadena
//convierte la cadena dato3 de tipo char a tipo string y
//funcion que convierte la cadena dato 6 de tipo string a
//variable que se inicia en 1 cuando recibe un dato por el
//primer contador segundos que inicia en 0
//segundo contador t que inicia en 0
//tercer contador z que inicia en 0
//cuarto contador k que inicia en 0
//cambia el indicador de llegada del dato a estado alto
//llama al metodo caudal que retorna el valor del sesnor
//variable del volumen litros se inicia en 0
//compara el valor que es necesario para apagar el
//cambia el estado del indicador del estado de
//reinicia el estado de la variable que enciende la
//compara si la variable de inicio de recepcion es igual
//enciende el indicador de estado de la valvula

```

```

    segundos++;
    es igual a 1
    digitalWrite(valvula,LOW);
    digitalWrite(xbee,HIGH);
    exitosa.
    k++;
    es igual a 1
    totalMiliLitres+=flowMiliLitres;
    mientras play es igual a 1
    }
    tiempo_si_rego();
    tiempo verdadero que si rego
    if (segundos==dato_7)
    12345
    {
    segundos = 0;
    play = 0;
    valvula en apagado
    t = 0;
    cero.
    z = 0;
    k = 0;
    digitalWrite(on,LOW);
    de la valvula.
    digitalWrite(xbee,LOW);
    exitosa.
    digitalWrite(valvula,HIGH);
    caudal();
    caudal=2.0
    }
    Serial.println(k);
    Serial.println(z);
    Serial.println(segundos);
    segundos
    Serial.println(dato_7);
    activarce la valvula
    }
    int tiempo_si_rego()
    {

```

```

//primer contador incrementa en un segundo mientras play
//cambia el estado del pin de la valvula en bajo.
//enciende el indicador de estado de recepcion

//cuarto contador incrementa en un segundo mientras play
//almacena el volume en miliLitros,el cual se incrementa

//llama a la funcion tiempo_si_rego(), el cual retorna el
//compara si el primer contador es igual al dato_7 =

//reinicia el primer contador a cero.
//reinicia el estado de la variable que enciende la

//reinicia el segundo contador a

//reinicia el tercer contador a cero.
//reinicia el cuarto contador a cero.
//conFigura en bajo el indicador de estado de operacion

//conFigura en bajo indicador de estado de recepcion

//conFigura el pin de la valvula de estado HIGH(Apaga).
//llama a la funcion caudal,el cual retorna el valor del

//imprime en la pantalla el valor del cuarto contador k
//imprime en la pantalla el valor del tercer contador z
//imprime en la pantalla el valor del primer contador

//imprime en la pantalla el valor del tiempo que debe

//funcion que calculo el tiempo que si rego

```

```

    if((humedad>550)&&(play==1)) //compara el valor de la humedad del suelo si es igual o
mayor al valor que cumple para regar mientras play es igual a 1
    {
        t = segundos; //conFigura el segundo contador con el valor de segundos
        k; //llama al cuarto contador k
        z = 0; //reinicia el tercer contador en 0
        digitalWrite(on,HIGH); //mantiene en estado alto del indicador de estado de
operacion valvula
        digitalWrite(valvula,LOW); //mantiene en estado alto la operacion del pin que
controla la valvula
    }
    if ((humedad<550)&&(play==1)) //compara si el valor de la humedad del suelo se
encuentraen condicion humeda mientras play es igual a 1
    {
        digitalWrite(on,LOW); //conFigura en estado Bajo el indicador de estado de
operacion valvula
        digitalWrite(valvula,HIGH); //conFigura en estado Alto el pin que controla la valvula.
        z = t; //tercer contador almacena el dato del segundo contador
        segundos =0; //primer contador se reinicia en 0
    }
    if(lluv<200) //compara el dato de Presipitacion es menor a 200
    {
        z = t; //tercer contador almacena el dato del segundo contador
        digitalWrite(on,LOW); //conFigura en estado Bajo el indicador de estado de
operacion valvula
        play = 0; //reinicia el estado de la variable que enciende la
valvula en LOW.
    }
    if(lluv>200) //compara el dato de Presipitacion es mayor a 200
    {
        t = 0; //reinicia el segundo contador a cero.
        z = 0; //reinicia el tercer contador a cero.
    }

    if (k==dato_7) //si el cuarto contador es igual al dato_7
    {
        z = 0; //reinicia el tercer contador a cero.
        k = 0; //reinicia el cuarto contador a cero.
        segundos = 0; //reinicia el primer contador a cero.
    }

```

```

    play = 0;
    valvula en LOW
    digitalWrite(xbee, LOW);
    exitosa.
    digitalWrite(on, LOW);
    operacion valvula
    digitalWrite(valvula, HIGH);
    valvula.
    }
    return z;
    }
String ard_rasp()
{
if (Serial.available() >=0)
{
    delay(dht.getMinimumSamplingPeriod());
    int hum = dht.getHumidity();
    int temp = dht.getTemperature();
    int hums = humsuelo();
    humsuelo() = 700
    int precip = lluvial();
    lluvia() = 800
    caudal();
    int caud = int(flowMiliLitres);
    = 2
    int vol = totalMiliLitres/100;
    para 100 = 2000/100 = 20
    int tiempo = tiempo_si_rego();
    sensores[0] = "x1"+String(hum)+"x2";
    Humedad Relativa = x165x2
    sensores[1] = "x3"+String(temp)+"x4";
    Temperatura Ambiente = x335x4
    sensores[2] = "x5"+String(hums)+"x6";
    Humedad del Suelo = x5700x6
    sensores[3] = "x7"+String(precip)+"x8";
    Precipitacion = x7800x8
    sensores[4] = "x9"+String(caud)+"x10";
    caudal = x92x10

```

```

//reinicia el estado de la variable que enciende la
//conFigura en bajo el indicador de estado de recepcion
//conFigura en estado Bajo el indicador de estado de
//conFigura en estado Alto el pin que controla la

//retorna el tiempo que si rego en segundos

//funcion que envia los datos hacia la zona 2.

//lectura del puerto serie del terminal es mayor a cero

//espera un tiempo de la libreria DHT = 1000
//almacena el dato de la Humedad Relativa = 65
//almacena el dato de la Temperatura Ambiente = 35
//almacena el dato de la Humedasd del Suelo de la funcion

//almacena el dato de la Presipitacion de la funcion

//llama a la funcion caudal que retorna el dato del caudal
//almacena el dato del caudal y lo transforma a un entero

//almacena el valor del volumen en miliLitros y lo divide

//almacena el tiempo que si rego
//alamcena la suma de los caracteres x1 mas x2 al dato de

//alamcena la suma de los caracteres x3 mas x4 al dato

//alamcena la suma de los caracteres x5 mas x6 al dato

//alamcena la suma de los caracteres x7 mas x8 al dato

//alamcena la suma de los caracteres x9 mas x10 al dato

```


ANEXO 10: Código de la interfaz gráfica

Archivo : main.py

```
from PyQt4.QtGui import QApplication
from main_window import Ventana as Ventana1
if __name__ == "__main__":
    import sys
    app = QApplication(sys.argv)

    main = Ventana1()
    with open('styles.css') as f:
        self = f.read()
    app.setStyleSheet(self)
    main.show()

    sys.exit(app.exec_())
```

Archivo a: main_window.py

```
from PyQt4.QtGui import (QApplication, QWidget, QMainWindow, QPushButton, QCheckBox,
                          QLabel, QHBoxLayout, QVBoxLayout, QPixmap, QMessageBox,
                          QComboBox, QSpinBox, QMdiArea, QLineEdit, QMessageBox)
from PyQt4.QtCore import *
from PyQt4.QtCore import pyqtSlot
#from Vprofesor import Profesor
from VVprofesor import Control
class Ventana(QMainWindow):
    def __init__(self, parent=None):
        super(Ventana, self).__init__(parent)
        self.move(100,200)
        self.setObjectName("window")
        self.lblini = QLabel("<h1>SISTEMA INTELIGENTE DE RIEGO CON LOGICA
DIFUSA</h1>")
        self.lblini.setObjectName("inicio")
        self.btnacc = QPushButton("entrar")
        self.btnacc.setObjectName("entra")
        self.btnexit = QPushButton("salir")
        self.btnexit.setObjectName("exit")
        self.lblacc = QLabel()
        self.lblacc.setObjectName("acc")

        self.lblacc.hide()
        self.chkbpof = QCheckBox("usuario")
        self.chkbpof.setObjectName("usuario")
        self.chkbpof.hide()
        self.btngo = QPushButton('adelante')
        self.btngo.setObjectName('adelante')
        self.btngo.hide()
        self.lbling_utn = QLabel()
        self.lbling_ia = QLabel()
        self.lbling_smart_irr = QLabel()
        self.pixmap1 = QPixmap('logoutn.png')
        self.pixmap2 = QPixmap('ia')
        self.pixmap3 = QPixmap('smart_irr')
        self.lbling_utn.setPixmap(self.pixmap1)
        self.lbling_ia.setPixmap(self.pixmap2)
```

```

self.lbling_smart_irr.setPixmap(self.pxmap3)
self.centralWidget = QWidget()
self.vbox = QVBoxLayout(self.centralWidget)

self.hboximg = QHBoxLayout(self.centralWidget)
self.hboximg.addWidget(self.lbling_utn)
self.hboximg.addWidget(self.lbling_ia)
self.hboximg.addWidget(self.lbling_smart_irr)
self.vbox.addWidget(self.lblini)
self.vbox.addLayout(self.hboximg)
self.vbox.addWidget(self.btnacc)
self.vbox.addWidget(self.lblacc)
self.vbox.addWidget(self.chkbprof)
self.vbox.addWidget(self.btngo)
self.vbox.addWidget(self.btnexit)
self.setCentralWidget(self.centralWidget)
self.btnacc.clicked.connect(self.principal)
self.connect(self.btnexit,SIGNAL("clicked()"), self.exit)
self.chkbprof.toggled.connect(self.prof)
self.btngo.clicked.connect(self.acceder)

def exit(self):
    self.close()
def acceder(self):
    b = self.prof()
    if b == False:
        self.msg=QMessageBox()
        self.msg.setIcon(QMessageBox.Information)
        self.msg.setText("")
        self.msg.setInformativeText("Seleccione casilla de usuario antes de ingresar")
        self.msg.setWindowTitle("Advertencia Usuario")
        OK = QMessageBox.Ok
        cancel = QMessageBox.Cancel
        self.msg.setStandardButtons(OK | cancel)
        retval=self.msg.exec_()
    if b == True:
        self.siprof()
        self.refrescar()
def principal(self):
    self.lblacc.show()
    self.lblacc.setText("<h2>Seleccione casilla de usuario</h2>")
    self.chkbprof.show()
    self.btngo.show()
def prof(self):
    if self.chkbprof.text()=="usuario":
        if self.chkbprof.isChecked()==True:
            print self.chkbprof.text()+" is selected"
            return True
        else:
            print self.chkbprof.text()+" is deselected"
            return False
def siprof(self):
    self.hide()
#     profe = Profesor(self)
#     profe.show()
    control = Control(self)
    control.show()
def refrescar(self):
    self.btngo.hide()
    self.chkbprof.hide()
    self.lblacc.hide()

```

Archivo c: memoria.py

```
import MySQLdb
from PyQt4.QtGui import (QWidget, QMainWindow, QPushButton, QVBoxLayout
                        ,QHBoxLayout, QLabel, QLineEdit, QSpinBox, QComboBox)
class memoria(QMainWindow):
    def __init__(self, parent):
        QMainWindow.__init__(self, parent)
        self.widget = QWidget()
        self.lblmemoria = QLabel("Si desea ver estado de memoria sistema presione aceptar")
        self.lblestado_actual = QLabel("")
        self.lblestado_usada = QLabel("")
        self.lblestado_total = QLabel("")
        self.btn_aceptar = QPushButton("aceptar")
        self.btn_borrar = QPushButton("borrar")
        self.btn_borrar.hide()
        self.btn_cerrar = QPushButton("cerrar")
        self.vboxmemoria = QVBoxLayout(self.widget)
        self.vboxmemoria.addWidget(self.lblmemoria)
        self.vboxmemoria.addWidget(self.lblestado_actual)
        self.vboxmemoria.addWidget(self.lblestado_usada)
        self.vboxmemoria.addWidget(self.lblestado_total)
        self.vboxmemoria.addWidget(self.btn_aceptar)
        self.vboxmemoria.addWidget(self.btn_borrar)
        self.vboxmemoria.addWidget(self.btn_cerrar)
        self.setCentralWidget(self.widget)

        self.btn_aceptar.clicked.connect(self.aceptar)
        self.btn_borrar.clicked.connect(self.borrar)
        self.btn_cerrar.clicked.connect(self.cerrar)

    def aceptar(self):
        db_host = 'localhost'
        usuario = 'root'
        clave = 'desnutryfy'
        base_de_datos = 'variables'
        db = MySQLdb.connect(host=db_host, user=usuario, passwd=clave, db=base_de_datos)
        cursor = db.cursor()
        #mi_query = "SELECT * FROM variables WHERE Humedad_Ambiente='32'"

        mi_query = " SELECT table_schema
'DATABASE',convert(sum(data_length+index_length)/1024,decimal(6,2)) 'SIZE (MB)' FROM
information_schema.tables WHERE table_schema!='information_schema' GROUP BY table_schema"

        cursor.execute(mi_query)
        rows = cursor.fetchall()
        espacio = 500000
        espacio_kb = int(espacio/1024)
        tam_o=0
        for row in rows:
            taman = int(row[1])
            base = row[0]
            if base == "variables":
                tam_o = espacio_kb-taman
                if tam_o<0:
                    self.lblestado_actual.setText("falta (Kby) %s para
guardar"%(tam_o*(-1)))
```

```

        self.lblestado_usada.setText("si desea vaciar los registros de la
Tabla preciones borrar")

        self.btn_borrar.show()
        si = False
    else:
        self.lblestado_actual.setText("disponible(Kby) %s"%(tam_o))
        self.lblestado_usada.setText(" usada(Kby) %s"%(taman))
        self.lblestado_total.setText("Total(Kby) %s"%(espacio_kb))
        si = True

    cursor.close()
    return si
def borrar(self):
    db_host = 'localhost'
    usuario = 'root'
    clave = 'desnutryfy'
    base_de_datos = 'variables'
    db = MySQLdb.connect(host=db_host, user=usuario, passwd=clave,db=base_de_datos)
    cursor = db.cursor()
    mi_query = " TRUNCATE TABLE prueba "
    correcto = cursor.execute(mi_query)
    if correcto ==0:
        print "Tabla borrada"
#    rows = cursor.fetchall()
    db.close()
def cerrar(self):
    self.hide()

```

Archivo d: RManual.py

```

from PyQt4.QtGui import (QWidget, QMainWindow, QToolBar, QAction,
                        QPushButton, QLabel, QHBoxLayout, QVBoxLayout,
                        QComboBox, QCheckBox )

from PyQt4.QtCore import Qt
import VVprofesor as profesor

class riego_manual(QMainWindow):
    def __init__(self,parent):
        QMainWindow.__init__(self,parent)
        self.move(300,300)
        self.widget = QWidget()
        self.lblvariable = QLabel("Seleccione las variobles disponibles")
        self.btnok = QPushButton("ok")
        self.lblvar = QLabel("")
        self.bninterminar = QPushButton("terminar")

        self.lbltemp = QLabel("temperatura")
        self.lbltemp.hide()
        self.lblhum = QLabel("humedad")
        self.lblhum.hide()
        self.lblpresi = QLabel("presipitacion")
        self.lblpresi.hide()
        self.chkbttemp = QCheckBox("temperatura")
        self.chkbhum = QCheckBox("humedad")
        self.chkbpres = QCheckBox("presipitacion")

```

```

self.vbox = QVBoxLayout(self.widget)
self.hbox = QHBoxLayout(self.widget)
    self.hbox.addWidget(self.lblvariable)

#
    self.hhbox = QHBoxLayout(self.widget)
    self.hhbox.addWidget(self.lblvar)
    self.hhbox.addWidget(self.chkbttemp)
    self.hhbox.addWidget(self.chkbhum)
    self.hhbox.addWidget(self.chkbpre)
    self.hhhbox = QHBoxLayout(self.widget)
    self.hhhbox.addWidget(self.lbltemp)
    self.hhhbox.addWidget(self.lblhum)
    self.hhhbox.addWidget(self.lblpresi)

self.vbox.addLayout(self.hbox)
self.vbox.addLayout(self.hhbox)
self.vbox.addLayout(self.hhhbox)
self.vbox.addWidget(self.btnterminar)
self.setLayout(self.vbox)
self.setCentralWidget(self.widget)

self.btnterminar.clicked.connect(self.guardar)
self.chkbttemp.toggled.connect(self.seleccionados)
self.chkbhum.toggled.connect(self.seleccionados)
self.chkbpre.toggled.connect(self.seleccionados)
self.variable = ['temperatura', 'humedad', 'presipitacion']
def terminar(self):
    self.hide()
def seleccionados(self):
    tem = 0
    hum = 0
    pre = 0
    if self.chkbttemp.isChecked()==False:
        if self.chkbhum.isChecked()==False:
            if self.chkbpre.isChecked()==False:
                tem = 0
                hum = 0
                pre = 0
    if self.chkbttemp.isChecked()==False:
        if self.chkbhum.isChecked()==False:
            if self.chkbpre.isChecked()==True:
                tem = 0
                hum = 0
                pre = 1
    if self.chkbttemp.isChecked()==False:
    if self.chkbhum.isChecked()==True:
    if self.chkbpre.isChecked()==False:
        tem = 0
        hum = 1
        pre = 0
    if self.chkbttemp.isChecked()==False:
    if self.chkbhum.isChecked()==True:
        if self.chkbpre.isChecked()==True:
            tem = 0
            hum = 1
            pre = 1
    if self.chkbttemp.isChecked()==True:
    if self.chkbhum.isChecked()==False:
        if self.chkbpre.isChecked()==False:
            tem = 1

```

```

        hum = 0
        pre = 0
        print '4'

    if self.chkbttemp.isChecked()==True:
    if self.chkbhum.isChecked()==False:
        if self.chkbpres.isChecked()==True:
            tem = 1
            hum = 0
            pre = 1
            print '5'

    if self.chkbttemp.isChecked()==True:
    if self.chkbhum.isChecked()==True:
        if self.chkbpres.isChecked()==False:
            tem = 1
            hum = 1
            pre = 0
            print '6'

    if self.chkbttemp.isChecked()==True:
    if self.chkbhum.isChecked()==True:
        if self.chkbpres.isChecked()==True:
            tem = 1
            hum = 1
            pre = 1
            print '7'
    return [tem,hum,pres]
def guardar(self):
    while True:
        try:
            arch = open('variables.txt','r')
        except IOError:
            arch = open('variables.txt','w')
        break
    [temp,hume,pres] = self.seleccionados()
    if temp == 0 and hume == 0 and pres == 0:
        arch = open('variables.txt','w')
        datos = "0"
        arch.write(datos)
    if temp == 0 and hume == 0 and pres == 1:
    arch = open('variables.txt','w')
    datos = self.variable[2]
    arch.write(datos)

    if temp == 0 and hume == 1 and pres == 0:
    arch = open('variables.txt','w')
    datos = self.variable[1]
    arch.write(datos)
    if temp == 0 and hume == 1 and pres == 1:
    arch = open('variables.txt','w')
    datos = self.variable[1]+' '+self.variable[2]
    arch.write(datos)
    if temp == 1 and hume == 0 and pres == 0:
    arch = open('variables.txt','w')
    datos = self.variable[0]
    arch.write(datos)
    if temp == 1 and hume == 1 and pres == 1:
    arch = open('variables.txt','w')

```

```

datos = self.variable[0]+' '+self.variable[1]+' '+self.variable[2]
arch.write(datos)

arch = open('variables.txt','a')
arch.write('2')
self.hide()

```

Archivo e: Vprofesor.py

```

from PyQt4.QtGui import (QWidget, QMainWindow, QPushButton, QCheckBox,
    QLabel, QHBoxLayout, QVBoxLayout, QPixmap, QMessageBox,
    QComboBox, QSpinBox, QMdiArea, QLineEdit,
    QDialog, QToolBar)

from PyQt4.QtCore import *
from PyQt4.QtCore import pyqtSlot
import webbrowser
from VVprofesor import Control
import main_window as ventana

class Profesor(QMessageBox):
    def __init__(self,parent):
        QMessageBox.__init__(self,parent)
        self.move(100,200)
        self.setIcon(QMessageBox.Warning)
        msg = self.Yes
        msg |= self.No
        ok = self.Ok
        self.setStandardButtons(ok)
        self.buttonClicked.connect(self.Oki)
        self.respuesta = self.question(self,self.tr("Warning"),
            self.tr("Desea seguir el manual de uso del sistema antes de acceder a la ventana de
control"),
            msg)
        if self.respuesta == self.No:
            self.setInformativeText("No cierre esta pantalla")
            control = Control(self)
            control.show()
        if self.respuesta == self.Yes:
            self.setInformativeText("No cierre esta pantalla")
            webbrowser.open_new(r'/home/pi/Desktop/tesis/tesis/file.pdf')
    def Oki(self):
        if self.Ok:
            a = ventana.Ventana(self)
            a.show()

```

Archivo f: VVProfesor.py

```
from PyQt4.QtGui import (QWidget, QMainWindow, QToolBar, QPushButton, QVBoxLayout
                        ,QHBoxLayout, QLabel, QLineEdit, QSpinBox, QComboBox, QMenu
                        , QAction, QSlider, QProgressBar, QCheckBox, QTableWidgetItem)
from PyQt4.QtSql import QSqlDatabase, QSqlQuery
import MySQLdb
import skfuzzy as fuzz
import matplotlib.pyplot as plt
from skfuzzy import control as ctrl
import numpy as np
from PyQt4.QtCore import Qt, QTimer
from PyQt4 import QtCore
from Rmanual import riego_manual
from variablesI import variables_entrada
from memoria import memoria
import serial
from datetime import datetime, date, time, timedelta
import time
import xlswriter
import webbrowser
import main_window as ventana
class Control(QMainWindow):
    def __init__(self, parent):
        QMainWindow.__init__(self, parent)
        self.move(200, 200)
        self.setObjectName("control")
        self.widget = QWidget()
        self.table_a = QTableWidgetItem()

        menu = self.menuBar()
        self.crear_acciones()
        self.crear_menu(menu)
        self.toolbar = QToolBar(self.widget)

        self.crear_toolbar(self.toolbar)
        self.addToolBar(Qt.LeftToolBarArea, self.toolbar)
        self.vbox = QVBoxLayout(self.widget)
        self.lblmemoria = QLabel("")
        self.lblvalores = QLabel()
        self.lblvalores.setObjectName("valores")
        self.chkbautomatico = QCheckBox("automatico")
        self.chkbautomatico.hide()
        self.btnrefresh = QPushButton("actualizar pantalla")
        self.btnrefresh.hide()
        self.btnplay = QPushButton("mostrar datos reales")
        self.btnbombaon = QPushButton("encender electrobomba")
        self.btnbombaon.hide()
        self.btnplay.hide()
        self.btnapagar = QPushButton("apagar")
        self.btnapagar.hide()
        self.lblplayvaltemp = QLabel("0")
        self.lblplayvaltemp.hide()
        self.lblplaytemp = QLabel("Temperatura Ambinete (C) ")
        self.lblplaytemp.hide()
        # self.pgbtemp = QProgressBar()
        self.lblplayvalhum = QLabel("0")
        self.lblplayvalhum.hide()
        self.lblplayhum = QLabel("Humedad Ambiente")
        self.lblplayhum.hide()
```

```

self.lblplaylluv = QLabel("Presipitacion")
self.lblplaylluv.hide()
self.lblplayvalluv = QLabel("0")
self.lblplayvalluv.hide()
self.lblcaudal = QLabel("Caudal mlitr/s")
self.lblcaudal.hide()
self.lblplayvalcaudal = QLabel("0")
self.lblplayvalcaudal.hide()
self.lblplayhumS = QLabel("humedad del suelo")
self.lblplayhumS.hide()
self.lblplayvalhumS = QLabel("0")
self.lblplayvalhumS.hide()
self.lblplayvolumen = QLabel("volumen Total(ml)")
self.lblplayvolumen.hide()
self.lblplayvalvolumen = QLabel("0")
self.lblplayvalvolumen.hide()
self.lbltemp = QLabel(" ")
self.lbltemp.hide()
self.spbtemp = QSpinBox()
self.spbtemp.hide()
self.lblhum = QLabel(" ")
self.spbhum = QSpinBox()
self.spbhum.hide()
self.lblpres = QLabel(" ")
self.lblpres.hide()
self.blfrecR = QLabel("Configure tiempo de riego")
self.blfrecR.hide()
self.chkbhor = QCheckBox("horas")
self.chkbhor.hide()
self.chkbmin = QCheckBox("minutos")
self.chkbmin.hide()
self.spbhor = QSpinBox()
self.spbhor.hide()
self.spbmin = QSpinBox()
self.spbmin.hide()
self.cmbpre = QComboBox()
self.cmbpre.hide()
self.cmbpre.addItem('llueve','no llueve')
self.blrefresh = QLabel(" ")
self.btningresar = QPushButton("ingresar datos")
self.btningresar.hide()
self.lblingresar = QLabel(" ")
self.lbltiempo = QLabel(" ")
self.lbltiempoterm = QLabel(" ")
self.lbltiempoterm.hide()
self.lblta = QLabel("si desea activar riego automatico configure ciclo de riego en horas 1-24 ")
self.lblta.hide()
self.spbta = QSpinBox()
self.spbta.hide()
self.hboxta = QHBoxLayout(self.widget)
self.hbox = QHBoxLayout(self.widget)
self.hhbox = QHBoxLayout(self.widget)
self.hhhbox = QHBoxLayout(self.widget)
self.hhhhbox = QHBoxLayout(self.widget)
self.hhhhhbox = QHBoxLayout(self.widget)
self.hboxplaytemp = QHBoxLayout(self.widget)
self.hboxplayhum = QHBoxLayout(self.widget)
self.hboxplaylluv = QHBoxLayout(self.widget)
self.hboxplayhumS = QHBoxLayout(self.widget)
self.hboxplaycaudal = QHBoxLayout(self.widget)

```

```

self.hboxplayvolumen = QHBoxLayout(self.widget)
self.hboxtiempo = QHBoxLayout(self.widget)
self.hboxtiempoter = QHBoxLayout(self.widget)
self.hboxta.addWidget(self.lblta)
self.hboxta.addWidget(self.spbta)
self.hbox.addWidget(self.lbltemp)
self.hbox.addWidget(self.spbtemp)
self.hhbox.addWidget(self.lblhum)
self.hhbox.addWidget(self.spbhum)
self.hhhbox.addWidget(self.lblpres)
self.hhhbox.addWidget(self.cmbpre)
self.hhhhbox.addWidget(self.btnrefresh)
self.hhhhbox.addWidget(self.btingresar)
self.hhhhbox.addWidget(self.btnplay)
self.hhhhhbox.addWidget(self.lblingresar)
self.hboxplaytemp.addWidget(self.lblplaytemp)
self.hboxplaytemp.addWidget(self.lblplayvaltemp)
self.hboxplayhum.addWidget(self.lblplayhum)
self.hboxplayhum.addWidget(self.lblplayvalhum)
self.hboxplaylluv.addWidget(self.lblplaylluv)
self.hboxplaylluv.addWidget(self.lblplayvalluv)
self.hboxplayhumS.addWidget(self.lblplayhumS)
self.hboxplayhumS.addWidget(self.lblplayvalhumS)
self.hboxplaycaudal.addWidget(self.lblcaudal)
self.hboxplaycaudal.addWidget(self.lblplayvalcaudal)
self.hboxplayvolumen.addWidget(self.lblplayvolumen)
self.hboxplayvolumen.addWidget(self.lblplayvalvolumen)
self.hboxtiempo.addWidget(self.chkbhor)
self.hboxtiempo.addWidget(self.spbhor)
self.hboxtiempo.addWidget(self.chkbmin)
self.hboxtiempo.addWidget(self.spbmin)
self.hboxtiempo.addWidget(self.btnapagar)
self.hboxtiempoter.addWidget(self.lbltiempo)
self.hboxtiempoter.addWidget(self.lbltiempoterm)
self.vbox.addWidget(self.lblvalores)
self.vbox.addLayout(self.hboxta)
self.vbox.addWidget(self.chkbautomatico)
self.vbox.addLayout(self.hbox)
self.vbox.addLayout(self.hhbox)
self.vbox.addLayout(self.hhhbox)
self.vbox.addLayout(self.hhhhbox)
self.vbox.addLayout(self.hboxplaytemp)
self.vbox.addLayout(self.hboxplayhum)
self.vbox.addLayout(self.hboxplaylluv)
self.vbox.addLayout(self.hboxplayhumS)
self.vbox.addLayout(self.hboxplaycaudal)
self.vbox.addLayout(self.hboxplayvolumen)
self.vbox.addWidget(self.lblfrecR)
self.vbox.addWidget(self.table_a)
self.vbox.addLayout(self.hboxtiempo)
self.vbox.addWidget(self.btnbombaon)
# self.vbox.addWidget(self.pgbtemp)
self.vbox.addLayout(self.hboxtiempoter)
self.setCentralWidget(self.widget)
# self.vbox.addWidget(self.lblmemoria)
self.nuevo.triggered.connect(self.nuevo_)
self.riego_manu.triggered.connect(self.manual)
self.variableI.triggered.connect(self.variables_entrada)
self.btnrefresh.clicked.connect(self.actualizar)

```

```

self.btningresar.clicked.connect(self.ingresar)
self.btnplay.clicked.connect(self.play)
self.btnbombaon.clicked.connect(self.bombaon)
self.btnapagar.clicked.connect(self.apagar)
self.chkbhor.toggled.connect(self.horas)
self.chkbmin.toggled.connect(self.min)
self.guardar.triggered.connect(self.guardar_)
self.manual_uso.triggered.connect(self.manual_usuario)
self.exit.triggered.connect(self.salir)
self.base.triggered.connect(self.estado_memoria)
self.chkbaautomatico.toggled.connect(self.actualizar_1)
timer_1 = QTimer(self.widget)
timer_1.timeout.connect(self.updatevariables)
timer_1.setInterval(10000)
timer_1.start()
self.ii=0
timer_2 = QTimer(self.widget)
timer_2.timeout.connect(self.tiempo)
timer_2.setInterval(1000)
timer_2.start()
self.s = 0
self.m = 0
self.h = 0
self.t = 0
self.volt = 0
self.row = 0
self.tsr=0
self.db = QSqlDatabase.addDatabase('QMYSQL')
self.db.setHostName("localhost")
self.db.setDatabaseName("variables")
self.db.setUserName("root")
self.db.setPassword("desnutryfy")
memo = memoria(self)
respuesta = memo.aceptar()
if respuesta == False:
    self.lblmemoria.setText("No hay memoria suficiente")
#     self.chkbaautomatico.setChecked(False)
#     self.chkbaautomatico.hide()
print respuesta

def crear_acciones(self):
    self.nuevo = QAction("Nuevo", self)
    self.guardar = QAction("Guardar",self)
    self.exit = QAction("Salir",self)
    self.variableI = QAction("Variables entrada",self)
    self.variableO = QAction("Variables salida",self)
    self.manual_uso =QAction("acerca del sistema",self)
    self.riego_manu = QAction("manual",self,checkable=True)
    self.setObjectName("menu2")
    self.riego_manu.setStatusTip("manual")
    self.riego_manu.setChecked(False)
    self.rules = QAction("Reglas Difusas",self,checkable=True)
    self.base = QAction("base de datos",self,checkable=True)
    self.rules.setStatusTip('Reglas')
    self.rules.setChecked(False)
def crear_toolbar(self, toolbar):
    toolbar.setObjectName("toolbar")
    toolbar.addAction(self.nuevo)
    toolbar.addAction(self.guardar)
def crear_menu(self, menu_bar):

```

```

menu_inicio = menu_bar.addMenu("&Inicio")
menu_inicio.setObjectName("menu5")
menu_bar.setObjectName("menu1")
menu_inicio.addAction(self.nuevo)
menu_inicio.addAction(self.guardar)
menu_inicio.addAction(self.exit)
menu_herra = menu_bar.addMenu("&Herramientas")
met_riego = menu_herra.addMenu("metodo riego")
met_riego.setObjectName("menu3")
met_riego.addAction(self.riego_manu)
met_riego_dif = met_riego.addMenu("Logica Difusa")
met_riego_dif.setObjectName("menu4")
met_riego_dif.addAction(self.variableI)
menu_help = menu_bar.addMenu("&ayuda")
menu_help.addAction(self.manual_uso)
menu_help.addAction(self.base)

met_riego.setStyleSheet(""" #menu3{ font-size:15px;}
                             #menu3:item:selected{ background-color:red;}
                             #menu3:item{ background-color:green; }
                             #menu4:item{ background-color:green }
                             #menu4:item:selected{ background-color:red }
                             """)

"""
"""

def estado_memoria(self):
    memo = memoria(self)
    memo.show()

def nuevo_(self):
    self.ii = self.ii+1
    print (self.ii)
def manual(self):
    rieg_manual = riego_manual(self)
    self.btnrefresh.show()
    rieg_manual.show()
def actualizar(self):
    arch = open('variables.txt','r')
    linea = arch.readline()
    s = linea.split(',')
    self.lblta.show()
    self.spbta.show()
    self.lblvalores.show()
    self.chkbaautomatico.show()
    self.btningresar.show()
    self.lblvalores.setText(" ")
    if 'temperatura' not in s and 'humedad' not in s and 'presipitacion' in s:
        p = s[0]
        self.lblpres.show()
        self.lblpres.setText(p)
        self.cmbpre.show()
        self.lbltemp.hide()
        self.spbtemp.hide()
        self.lblhum.hide()
        self.spbhum.hide()
        self.lblvalores.setText("Umbrales de trabajo")
    if 'temperatura' not in s and 'humedad' in s and 'presipitacion' not in s:
        h = s[0]
        self.lblpres.hide()

```

```

self.lbltemp.hide()
    self.spbtemp.hide()
    self.lblhum.show()
    self.spbhum.show()
    self.lblhum.setText(h)
self.cmbpre.hide()
    self.lblhum.setText(h)
    self.lblvalores.setText("Umbrales de trabajo")
    if 'temperatura' not in s and 'humedad' in s and 'presipitacion' in s:
        h = s[0]
        p = s[1]
        self.lbltemp.hide()
        self.spbtemp.hide()
        self.lblhum.show()
        self.lblpres.show()
        self.spbhum.show()
        self.cmbpre.show()
        self.lblhum.setText(h)
        self.lblpres.setText(p)
    if 'temperatura' in s and 'humedad' not in s and 'presipitacion' not in s:
t = s[0]
self.lbltemp.show()
self.spbtemp.show()
self.lblhum.hide()
self.lblpres.hide()
self.spbhum.hide()
self.cmbpre.hide()
self.lblhum.hide()
        self.lbltemp.setText(t)
    if 'temperatura' in s and 'humedad' in s and 'presipitacion' in s:
self.lbltemp.show()
self.spbtemp.show()
self.lblhum.show()
self.lblpres.show()
self.spbhum.show()
self.cmbpre.show()
self.lblhum.show()
self.lbltemp.show()
        self.lbltemp.setText(s[0])
        self.lblhum.setText(s[1])
        self.lblpres.setText(s[2])
        self.lblvalores.setText("Umbrales de trabajo")
    if '0' in s:
        self.lblvalores.hide()
    if '1' in s:
        self.lblvalores.setText("Nivel de conocimiento Simple")
        self.spbhor.hide()
        self.spbmin.hide()
        self.btningresar.hide()
        self.btnplay.show()
        self.btnbombaon.show()
        self.chkbaautomatico.hide()
#
#
        a = variables_entrada(self)
        time = a.resolver()
        [a2,b2,c2,d2,e2] = self.parametros()
        time = self.difuso(a2,b2,c2,d2)
        self.lblingresar.setText("Segun los parametros el tiempo es: %2d"%(time) )
        self.blfrecR.setText("si desea activar el tiempo en %2d presione aceptar"%(time))

def ingresar(self):

```

```

        t = self.lblplayvaltemp.text()
        h = self.lblplayvalhum.text()
        h_s = self.lblplayvalhumS.text()
        pre = self.lblplayvalluv.text()
        caud = self.lblplayvalvolumen.text()
        p = str(self.cmbpre.currentText())
        self.lblingresar.setText("usted ha conFigurado el valor %s para temperatura el valor %s para
humedad"% (t,h))
        self.spbtemp.setEnabled(False)
        self.spbhum.setEnabled(False)
        self.cmbpre.setEnabled(False)
        self.btningresar.setEnabled(False)
        self.chkautomatico.show()
        self.btnplay.show()
        self.blfrecR.show()
        self.chkbhor.show()
        self.chkbmin.show()
        estado = self.db.open()
    """
    def Seleccionar(self):
        col =
['tipo_riego','Temperatura_Ambiente','Humedad_Ambiente','Humedad_Suelo','presipitacion','volumen']
        estado = self.db.open()
        if estado == True:
            self.table.setColumnCount(6)
            self.table.setHorizontalHeaderLabels([col[0],col[1],col[2],col[3],col[4],col[5]])
            row = 0
            sql = "SELECT * FROM variables"
            query = QSqlQuery(sql)
            while query.next():
                self.table.insertRow(row)
                tip = QTableWidgetItem(query.value(0).toString())
                temp_a = QTableWidgetItem(query.value(1).toString())
                hum_a = QTableWidgetItem(query.value(2).toString())
                hum_s = QTableWidgetItem(query.value(3).toString())
                pre = QTableWidgetItem(query.value(4).toString())
                vol = QTableWidgetItem(query.value(5).toString())
                self.table.setItem(row, 0, tip)
                self.table.setItem(row, 1, temp_a)
            self.table.setItem(row, 2, hum_a)
                self.table.setItem(row, 3, hum_s)
                self.table.setItem(row, 4, pre)
                self.table.setItem(row, 5, vol)
                row = row + 1
            self.db.close()
    """
    def play(self):
        self.lbltiempo.show()
        self.lblplaytemp.show()
        self.lblplayvaltemp.show()
        self.lblplayvaltemp.show()
        self.lblplayhum.show()
        self.lblplayvalhum.show()
        self.blfrecR.show()
        self.lblplaylluv.show()
        self.lblplayhumS.show()
        self.lblplayvalluv.show()
        self.lblplayvalhumS.show()
        self.lblplayvolumen.show()
        self.lblplayvalvolumen.show()

```

```

self.lblcaudal.show()
self.lblplayvalcaudal.show()
self.chkbaautomatico.show()
self.btnapagar.show()
def updatevariables(self):
    try:
        arduino=serial.Serial('/dev/ttyUSB0',baudrate=9600,timeout=1)
        correcto = True
        tempA = " "
        humA = " "
        lluv = " "
        humS = " "
        t_s = " "
        t=0
        a = True
#        cadena = 0
        caudal = " "
        vol = " "
        z = 0
        y = 0
    except serial.serialutil.SerialException:
        self.lblvalores.setText("Conecte el dispositivo Recepcion")
        tempA = " "
        humA = " "
        lluv = " "
        humS = " "
        caudal = " "
        correcto = False
    if correcto == True:
        data=arduino.readline()
        print data
        if "x1" in data and "x2" in data:
            a = data.find("x1",0,len(data))
            b = data.find("x2",a,len(data))
            hum_A = data[a+2]+data[b-1]
            self.lblplayvalhum.setText(hum_A)
            print a,b,hum_A
#        if "x3" in data and "x4" in data:
            a = data.find("x3",0,len(data))
            b = data.find("x4",a,len(data))
            tempA = data[a+2]+data[b-1]
            self.lblplayvaltemp.setText(tempA)
#        print a,b,tempA
            if "x5" in data and "x6" in data:
                a = data.find("x5",0,len(data))
                b = data.find("x6",a,len(data))
                c = b-a
                if c == 5:
                    humS = data[a+2]+data[b-2]+data[b-1]
                    self.lblplayvalhumS.setText(humS)
                if c == 6:
                    humS = data[a+2]+data[a+3]+data[b-2]+data[b-1]
                    self.lblplayvalhumS.setText(humS)
#        print a,b,humS
            if "x7" in data and "x8" in data:
                pr = " "
                a = data.find("x7",0,len(data))
                b = data.find("x8",a,len(data))
                c = b-a
                if c==6:

```

```

        pr = data[a+2]+data[b-3]+data[b-2]+data[b-1]
        self.lblplayvalluv.setText(pr)
    if c==5:
        pr = data[a+2]+data[b-2]+data[b-1]
        self.lblplayvalluv.setText(pr)
#
    print a,b,c,pr
if "x9" in data and "x10" in data:
    pr = " "
    a = data.find("x9",0,len(data))
    b = data.find("x10",a,len(data))
    c = b-a
        if c ==3:
            caud = data[a+2]
#
            self.lblplayvalcaudal.setText(caud)
        if c == 4:
            caud = data[a+2]+data[b-1]
#
            self.lblplayvalcaudal.setText(caud)
            caudal = int(caud)*0.1
            if caudal>0:
                self.lblplayvalcaudal.setText("%s"%(caud))
                print caudal
#
    print a,b,c,caud
        if "xa" in data and "xb" in data:
            a = data.find("xa",0,len(data))
            b = data.find("xb",0,len(data))
            c = b-a
if c == 9 :
#
    vol = data[a+2]+data[a+3]+data[4]+data[a+5]+data[a+6]+data[a+7]+data[a+8]
    self.lblplayvalvolumen.setText(vol)
    if c == 8 :
#
        vol = data[a+2]+data[a+3]+data[4]+data[a+5]+data[a+6]+data[a+7]
        self.lblplayvalvolumen.setText(vol)
        if c == 7 :
#
            vol = data[a+2]+data[a+3]+data[4]+data[a+5]+data[a+6]
            self.lblplayvalvolumen.setText(vol)
            if c ==6:
#
                vol = data[a+2]+data[a+3]+data[a+4]+data[a+5]
                self.lblplayvalvolumen.setText(vol)
                if c ==5:
#
                    vol = data[a+2]+data[a+3]+data[a+4]
                    self.lblplayvalvolumen.setText(vol)

                    if c ==4:
#
                        vol = data[a+2]+data[a+3]
                        self.lblplayvalvolumen.setText(vol)
                    if c ==3:
#
                        vol = data[a+2]
                        self.lblplayvalvolumen.setText(vol)

                    self.volt = int(vol)*10
                    [a,b,c,d,e]= self.parametros()
tp = int(self.difuso(a,b,c,d))
                    v = caudal*tp
                    if self.volt>0 and self.volt<=v:
                        self.lblplayvalvolumen.setText("%s"%(self.volt))

                    if "xc" in data and "xd" in data:
                        a = data.find("xc",0,len(data))
                        b = data.find("xd",0,len(data))

```

```

        c = b-a
        if c==3:
            t_s = data[a+2]
        if c ==4:
            t_s = data[a+2]+data[a+3]
        if c==5:
            t_s = data[a+2]+data[a+3]+data[a+4]
    if c==6:
        t_s = data[a+2]+data[a+3]+data[a+4]+data[a+5]
        if c==7:
            t_s = data[a+2]+data[a+3]+data[a+4]+data[a+5]+data[a+6]

        try:
            self.tsr = int(t_s)
        except ValueError:
            self.tsr = 0
#         print a,b,c,t_s
        else:
            arduino.close()
    time.sleep(.600)
def bombaon(self):
    self.lbltiempo.show()
    self.lblcaudal.show()
    arch = open('variables.txt','r')
    linea = arch.readline()
    s1 = linea.split(',')
    try:
        arduino=serial.Serial('/dev/ttyUSB0',baudrate=9600)
        correcto = True
    except serial.serialutil.SerialException:
        correcto = False
    if '2' in s1:
        self.s = 0
    self.m = self.spbmin.value()
    self.h = self.spbhor.value()
    m = self.spbmin.value()
    h = self.spbhor.value()
    s = ((h)*60*60)+m*60
    arduino.write(str(s))
    self.tiempo()
    [a,b,c,d,e] = self.parametros()
    vol = (e*s)/60
    self.lbltiempoterm.setText("Regando....")
    print "Manual", s,vol
    if '1' in s1:
        self.spbhor.hide()
        self.spbmin.hide()
        [a2,b2,c2,d2,e2] = self.parametros()
        t = int(self.difuso(a2,b2,c2,d2))
        arduino.write(str(t))
        print "difuso"
        m = t%60
        s = t//60
        self.s = s
        self.m = m
        self.h = 0
def horas(self):
    self.spbhor.show()
    self.btnbombaon.show()
def min(self):

```

```

        self.spbmin.show()
def tiempo(self):
    if self.s==0 and self.m==0 and self.h == 0:
        a = False
        self.lbt tiempo.show()
        self.lbt tiempo term.show()
#        self.lbt playval volumen.setText()
    else:
        a = True
    if a:
        if self.s >=0:
            self.s = self.s-1
        if self.s <0:
            self.s = 59
            self.m = self.m-1
        if self.m < 0:
            self.h = self.h-1
            self.m = 59
        if self.h<0:
            self.h = 23
        if self.s ==0 and self.h==0 and self.m ==0:
            self.lbt tiempo term.setText("tiempo terminado")
        self.lbt tiempo.setText("%s : %s : %s"%(self.h,self.m,self.s))
        return [self.s,self.m,self.h]
def variables_entrada(self):
    variablesIn = variables_entrada(self)
    variablesIn.show()
    self.btnrefresh.show()
def parametros(self):
    try:
        a = int(self.lbt playval temp.text())
        b = int(self.lbt playval humS.text())
        c = int(self.lbt playval hum.text())
        d = int(self.lbt playval lluv.text())
        e = float(self.lbt playval caudal.text())
    except ValueError:
        a,b,c,d,e = 0,0,0,0,0
    return[a,b,c,d,e]
def difuso(self,a1,b1,c1,d1):
    TA = np.arange(0,54,1)
    HA = np.arange(0,100,1)
    HS = np.arange(0,1024,1)
    PT = np.arange(0,1024,1)
    R = np.arange(0,1200,1)

#    a1 = 30
#    b1 = 1020
#    c1 = 50
#    d1 = 1000
#    print a1,b1,c1,d1

    TA_MF = fuzz.trimf(TA,[0,0,12])
    TA_F = fuzz.trimf(TA,[0,12,24])
    TA_R = fuzz.trimf(TA,[12,24,36])
    TA_A = fuzz.trimf(TA,[24,36,52])
    TA_MA = fuzz.trimf(TA,[36,48,52])

    HA_Aus = fuzz.trimf(HA,[0,0,0])
    HA_MPAus = fuzz.trimf(HA,[0,0,40])
    HA_PAus = fuzz.trimf(HA,[0,40,80])

```

```

    HA_PR = fuzz.trimf(HA,[40,80,100])
HA_PT = fuzz.trimf(HA,[80,100,100])

    HS_E = fuzz.trimf(HS,[0,0,450])
HS_MH = fuzz.trimf(HS,[0,450,650])
HS_H = fuzz.trimf(HS,[450,650,880])
    HS_S = fuzz.trimf(HS,[650,880,1024])
    HS_MS = fuzz.trimf(HS,[880,1024,1024])

    PT_Ps = fuzz.trimf(PT,[0,0,512])
PT_As = fuzz.trimf(PT,[512,1024,1024])

    R_N = fuzz.trimf(R,[0,0,0])
R_MP = fuzz.trimf(R,[0,240,480])
R_P = fuzz.trimf(R,[240,480,720])
R_R = fuzz.trimf(R,[480,720,1200])
    R_M = fuzz.trimf(R,[720,1200,1200])

    TA_n_MF =fuzz.interp_membership(TA,TA_MF,a1)
TA_n_F = fuzz.interp_membership(TA,TA_F,a1)
TA_n_R = fuzz.interp_membership(TA,TA_R,a1)
TA_n_A = fuzz.interp_membership(TA,TA_A,a1)
TA_n_MA =fuzz.interp_membership(TA,TA_MA,a1)

    HS_n_E = fuzz.interp_membership(HS,HS_E,b1)
HS_n_MH = fuzz.interp_membership(HS,HS_MH,b1)
HS_n_H = fuzz.interp_membership(HS,HS_H,b1)
HS_n_S = fuzz.interp_membership(HS,HS_S,b1)
    HS_n_MS = fuzz.interp_membership(HS,HS_MS,b1)

    HA_n_Aus = fuzz.interp_membership(HA,HA_Aus,c1)
HA_n_MPAus = fuzz.interp_membership(HA,HA_MPAus,c1)
HA_n_PAus = fuzz.interp_membership(HA,HA_PAus,c1)
HA_n_PR = fuzz.interp_membership(HA,HA_PR,c1)
HA_n_PT = fuzz.interp_membership(HA,HA_PT,c1)

    PT_n_As = fuzz.interp_membership(PT,PT_As,d1)
PT_n_Ps = fuzz.interp_membership(PT,PT_Ps,d1)

    r1 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MF,HS_n_E),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PT))
T_A_N1 = np.fmin(r1, R_N)

    r2 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MF,HS_n_E),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PR))
T_A_N2 = np.fmin(r2, R_N)

    r3 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MF,HS_n_MH),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PR))
T_A_N3 = np.fmin(r3, R_N)

    r4 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MF,HS_n_MH),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PT))
T_A_N4 = np.fmin(r4, R_N)

    r5 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MF,HS_n_H),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PR))
    T_A_N5 = np.fmin(r5, R_N)

    r6 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MF,HS_n_H),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PT))
T_A_N6 = np.fmin(r6, R_N)

    r7 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MF,HS_n_S),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PR))
T_A_R1 = np.fmin(r7, R_R)

```

```

r8 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MF,HS_n_S),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N7 = np.fmin(r8, R_N)

r9 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MF,HS_n_MS),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PT))
T_A_N8 = np.fmin(r9, R_N)

r10 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MF,HS_n_MS),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PR))
T_A_R2 = np.fmin(r10, R_R)

r11 = np.fmin(np.fmin(TA_n_F,HS_n_E),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PR))
T_A_N9 = np.fmin(r11, R_N)

r12 = np.fmin(np.fmin(TA_n_F,HS_n_E),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PT))
T_A_N10 = np.fmin(r12, R_N)

r13 = np.fmin(np.fmin(TA_n_F,HS_n_MH),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PT))
T_A_N11 = np.fmin(r13, R_N)

r14 = np.fmin(np.fmin(TA_n_F,HS_n_MH),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PR))
T_A_N12 = np.fmin(r14, R_N)

r15 = np.fmin(np.fmin(TA_n_F,HS_n_H),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PT))
T_A_N13 = np.fmin(r15, R_N)

r16 = np.fmin(np.fmin(TA_n_F,HS_n_H),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PR))
T_A_N14 = np.fmin(r16, R_N)

r17 = np.fmin(np.fmin(TA_n_F,HS_n_S),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PR))
T_A_R3 = np.fmin(r17, R_R)

r18 = np.fmin(np.fmin(TA_n_F,HS_n_S),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N15 = np.fmin(r18, R_N)

r19 = np.fmin(np.fmin(TA_n_F,HS_n_MS),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N16 = np.fmin(r19, R_N)

r20 = np.fmin(np.fmin(TA_n_F,HS_n_MS),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PR))
T_A_R4 = np.fmin(r20, R_R)

r21 = np.fmin(np.fmin(TA_n_R,HS_n_E),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PAus))
T_A_N17 = np.fmin(r21, R_N)

r22 = np.fmin(np.fmin(TA_n_R,HS_n_E),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_N18 = np.fmin(r22, R_N)

r23 = np.fmin(np.fmin(TA_n_R,HS_n_MH),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_N19 = np.fmin(r23, R_N)

r24 = np.fmin(np.fmin(TA_n_R,HS_n_MH),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N20 = np.fmin(r24, R_N)

r25 = np.fmin(np.fmin(TA_n_R,HS_n_H),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N21 = np.fmin(r25, R_N)

r26 = np.fmin(np.fmin(TA_n_R,HS_n_H),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_MP1 = np.fmin(r26, R_MP)

r27 = np.fmin(np.fmin(TA_n_R,HS_n_S),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_R5 = np.fmin(r27, R_R)

```

```

r28 = np.fmin(np.fmin(TA_n_R,HS_n_S),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N22 = np.fmin(r28, R_N)

r29 = np.fmin(np.fmin(TA_n_R,HS_n_MS),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N23 = np.fmin(r29, R_N)

r30 = np.fmin(np.fmin(TA_n_R,HS_n_MS),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_M1 = np.fmin(r30, R_M)

r31 = np.fmin(np.fmin(TA_n_A,HS_n_E),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_N24 = np.fmin(r31, R_N)

r32 = np.fmin(np.fmin(TA_n_A,HS_n_E),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N25 = np.fmin(r32, R_N)

r33 = np.fmin(np.fmin(TA_n_A,HS_n_MH),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_N26 = np.fmin(r33, R_N)

r34 = np.fmin(np.fmin(TA_n_A,HS_n_MH),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N27 = np.fmin(r34, R_N)

r35 = np.fmin(np.fmin(TA_n_A,HS_n_H), np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N28 = np.fmin(r35, R_N)

r36 = np.fmin(np.fmin(TA_n_A,HS_n_H),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_P1 = np.fmin(r36, R_P)

r37 = np.fmin(np.fmin(TA_n_A,HS_n_S),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_R6 = np.fmin(r37, R_R)

r38 = np.fmin(np.fmin(TA_n_A,HS_n_S),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N29 = np.fmin(r32, R_N)

r39 = np.fmin(np.fmin(TA_n_A,HS_n_MS),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_M2 = np.fmin(r39, R_M)

r40 = np.fmin(np.fmin(TA_n_A,HS_n_E),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N30 = np.fmin(r40, R_N)

r41 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MA,HS_n_E),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N31 = np.fmin(r41, R_N)

r42 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MA,HS_n_E),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_N32 = np.fmin(r42, R_N)

r43 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MA,HS_n_MH),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N33 = np.fmin(r43, R_N)

r44 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MA,HS_n_MH),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_N34 = np.fmin(r44, R_N)

r45 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MA,HS_n_H),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_P2 = np.fmin(r45, R_P)

r46 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MA,HS_n_H),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N35 = np.fmin(r46, R_N)

r47 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MA,HS_n_S),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N36 = np.fmin(r47, R_N)

```

```

r48 = np.fmin(np.fmin(TA_n_A,HS_n_S),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_M3 = np.fmin(r48, R_M)

r49 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MA,HS_n_MS),np.fmin(PT_n_Ps,HA_n_PR))
T_A_N37 = np.fmin(r49, R_N)

r50 = np.fmin(np.fmin(TA_n_MA,HS_n_MS),np.fmin(PT_n_As,HA_n_PAus))
T_A_M4 = np.fmin(r50, R_M)

r51 = np.fmin(np.fmin(TA_n_R,HS_n_MS),np.fmin(PT_n_As,HA_n_MPAus))
T_A_M5 = np.fmin(r51, R_M)

aggregated = np.fmax(T_A_N1,np.fmax(T_A_N2,np.fmax(T_A_N3,np.fmax(T_A_N4,
np.fmax(T_A_N5,np.fmax(T_A_N6,np.fmax(T_A_N7,np.fmax(T_A_N8,np.fmax(T_A_N9,
np.fmax(T_A_N10,np.fmax(T_A_N11,np.fmax(T_A_N12,np.fmax(T_A_N13,np.fmax(T_A_N14,
np.fmax(T_A_N15,np.fmax(T_A_N16,np.fmax(T_A_N17,np.fmax(T_A_N18,np.fmax(T_A_N19,
np.fmax(T_A_N20,np.fmax(T_A_N21,np.fmax(T_A_N22,np.fmax(T_A_N23,np.fmax(T_A_N24,
np.fmax(T_A_N25,np.fmax(T_A_N26,np.fmax(T_A_N27,np.fmax(T_A_N28,np.fmax(T_A_N29,
np.fmax(T_A_N30,np.fmax(T_A_N31,np.fmax(T_A_N32,np.fmax(T_A_N33,np.fmax(T_A_N34,
np.fmax(T_A_N35,np.fmax(T_A_N36,np.fmax(T_A_N37,np.fmax(T_A_N35,np.fmax(T_A_MP1,
np.fmax(T_A_P1,np.fmax(T_A_P2,np.fmax(T_A_R1,np.fmax(T_A_R2,np.fmax(T_A_R3,
np.fmax(T_A_R4,np.fmax(T_A_R5,np.fmax(T_A_R6,np.fmax(T_A_M1,np.fmax(T_A_M2,
np.fmax(T_A_M3,np.fmax(T_A_M4,T_A_M5))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))
try:
    tiempo_r = fuzz.defuzz(R, aggregated, 'centroid')

except AssertionError:
    tiempo_r = 0
T_A = fuzz.interp_membership(R, aggregated, tiempo_r)
# print T_A,tiempo_r
return tiempo_r
def actualizar_1(self):
    ahora = datetime.today()
    hora = ahora.strftime("%X")
    ano = ahora.strftime("%y")
    mes = ahora.strftime("%m")
    dia = ahora.strftime("%d")
    fecha = ano+"-"+mes+"-"+dia
    sr = "0"
    ta = 0

    if self.chkbaautomatico.isChecked() == True:
        self.lbltiempo.show()
        self.lbltiempoterm.setText(" ")
        [a,b,c,d,e]= self.parametros()
        tiempo = int(self.difuso(a,b,c,d))
        min = 0
        seg = 0
        ta_ = self.spbta.value()
        if ta_ > 1 and ta_ < 24:

```

```

        ta = ta_*3600000
        self.spbta.hide()
        ta_h = ta/3600000
        self.lblta.setText("cada %s horas se efectuara la frecuencia de riego"%(ta_h))
        memo = memoria(self)
        respuesta = memo.aceptar()
        if respuesta == False:
            self.lblta.setText("No hay memoria suficienete para continuar con el riego,
revise el manual de uso para solucionar")
            self.chkbaautomatico.setChecked(False)
            if tiempo >=60 and tiempo <=3600:
                min = tiempo//60
                seg = tiempo%60
                self.s = seg
                self.m = min
                tiempo_a = str(min) + " mint:" +str(seg)+"seg"
                self.lbltiempoterm.setText("Regando...")
                self.tiempo()
                sr = self.tsr
            self.lblingresar.setText("El riego resulta %2d segundos"%(tiempo))
            try:
                arduino=serial.Serial('/dev/ttyUSB0',baudrate=9600)
                correcto = True
            except serial.serialutil.SerialException:
                correcto = False
            if correcto == True:
                arduino.write(str(tiempo))
                arduino.close()

            vol = self.volt

            self.lblplayvalvolumen.setText("%s"%(self.volt))
            vol = int(self.lblplayvalvolumen.text())
            self.lblplayvalvolumen.setText("%s"%(vol))

            estado = self.db.open()
            if estado == False:
                pass
            else:
                sql = "INSERT INTO
variables(Temperatura_Ambiente,Humedad_Ambiente,Humedad_Suelo,Precipitacion,Volumen,Tiempo_mints,
Tiempo_seg,Hora,Fecha,t_si_rego )VALUES(:a,:c,:b,:d,:vol,:min,:seg,:hora,:fecha,:sr)"
                consulta= QSqlQuery()
                consulta.prepare(sql)
                consulta.bindValue(":a",a)
                consulta.bindValue(":c",c)
                consulta.bindValue(":b",b)
                consulta.bindValue(":d",d)
                consulta.bindValue(":vol",vol)
                consulta.bindValue(":min",min)
                consulta.bindValue(":seg",seg)
                consulta.bindValue(":hora",hora)
                consulta.bindValue(":fecha",fecha)
                consulta.bindValue(":sr",sr)
            estado = consulta.exec_()
            self.table_a.setRowCount(0)

            if estado == True:
                print "correcto"
            else:

```

```

        print "error"

        self.db.close()

        col_a =
["Tipo_riego",'Temperatura_Ambiente','Humedad_Ambiente','Humedad_Suelo','Precipitacion','Volumen','Tiempo_mints','Tiempo_seg','hora','Fecha ','Si_Rego']
        estado = self.db.open()
        if estado == True:
            self.table_a.setColumnCount(11)

            self.table_a.setHorizontalHeaderLabels([col_a[0],col_a[1],col_a[2],col_a[3],col_a[4],col_a[5],col_a[6],col_a[7],col_a[8],col_a[9],col_a[10]])
            sql = "SELECT * FROM variables"
            query = QSqlQuery(sql)
            self.row = 0
            while query.next():
                self.table_a.insertRow(self.row)
                tip = QTableWidgetItem(query.value(0).toString())
                temp_a = QTableWidgetItem(query.value(1).toString())
                hum_a = QTableWidgetItem(query.value(2).toString())
                hum_s = QTableWidgetItem(query.value(3).toString())
                pre = QTableWidgetItem(query.value(4).toString())
                vol = QTableWidgetItem(query.value(5).toString())
                tiempo_m = QTableWidgetItem(query.value(6).toString())
                tiempo_s = QTableWidgetItem(query.value(7).toString())
                hora = QTableWidgetItem(query.value(8).toString())
                fecha = QTableWidgetItem(query.value(9).toString())
                sir = QTableWidgetItem(query.value(10).toString())

                self.table_a.setItem(self.row, 0, tip)
                self.table_a.setItem(self.row, 1, temp_a)
                self.table_a.setItem(self.row, 2, hum_a)
                self.table_a.setItem(self.row, 3, hum_s)
                self.table_a.setItem(self.row, 4, pre)
                self.table_a.setItem(self.row, 5, vol)
                self.table_a.setItem(self.row, 6, tiempo_m)
                self.table_a.setItem(self.row, 7, tiempo_s)

            self.table_a.setItem(self.row, 8, hora)
            self.table_a.setItem(self.row, 9, fecha)
            self.table_a.setItem(self.row, 10, sir)
            self.row = self.row+1

#3600000

        QtCore.QTimer.singleShot(ta, lambda: self.actualizar_1())

        if self.chkbaautomatico.isChecked()==False:
            self.s = 0
        def apagar(self):
            try:
                arduino=serial.Serial('/dev/ttyUSB0',baudrate=9600)
                correcto = True
            except serial.serialutil.SerialException:
                correcto = False
            if correcto == True:
                arduino.write(str('111'))
                arduino.close()
                print "apago"

        def guardar_(self):
            workbook = xlswriter.Workbook('hello.xlsx')
            worksheet = workbook.add_worksheet()

```

```

estado = self.db.open()
x = 0
if estado == False:
    pass
else:
    sql = "SELECT * FROM variables"
    query = QSqlQuery(sql)

    while query.next():
        x = x+1
        a = query.value(1).toString()
        b = query.value(2).toString()
        c = query.value(3).toString()
        d = query.value(4).toString()
        e = query.value(5).toString()
        f = query.value(6).toString()
        g = query.value(7).toString()
        # h = query.value(8)
        #     i = query.value(9)

        col1 = 'A'+str(x)
        col2 = 'B'+str(x)
        col3 = 'C'+str(x)
        col4 = 'D'+str(x)
        col5 = 'E'+str(x)
        col6 = 'F'+str(x)
        col7 = 'G'+str(x)
        # col8 = 'H'+str(x)
        # col9 = 'I'+str(x)

        worksheet.write('A1', 'Temperatura')
        worksheet.write('B1', 'Humedad')
        worksheet.write('C1', 'Precipitacion')
        worksheet.write('D1', 'Humedad_Suelo')
        worksheet.write('E1', 'Volumen')
        worksheet.write('F1', 'Tiempo(mints)')
        worksheet.write('G1', 'Tiempo(segs)')
        # worksheet.write('H1', 'Hora')
        # worksheet.write('I1', 'Fecha')

        worksheet.write(col1, a)
        worksheet.write(col2, b)
        worksheet.write(col3, c)
        worksheet.write(col4, d)
        worksheet.write(col5, e)
        worksheet.write(col6, f)
        worksheet.write(col7, g)
        # worksheet.write(col8, h)
        # worksheet.write(col9, i)

    workbook.close()
    print "guardar"
def manual_usuario(self):
    webbrowser.open_new(r'/home/pi/Desktop/tesis/tesis/file.pdf')

def salir(self):
    a = ventana.Ventana(self)
    a.show()
    self.hide()

```

ANEXO 11: Registro de la base de datos

Temperatura Ambiente	Humedad del ambiente	Precipitación	Humedad del Suelo	Volumen	Tiempo de riego minutos	Tiempo de riego en segundos	Hora	Fecha
14	65	989	1002	2269	47	17	18:36:00	22/05/2018
13	58	1002	1005	2280	47	30	19:36:01	22/05/2018
14	53	1010	1002	2357	49	7	20:36:02	22/05/2018
15	51	1013	441	719	14	59	21:36:03	22/05/2018
14	56	1016	465	719	14	59	22:36:03	22/05/2018
14	52	1019	468	719	14	59	23:36:04	22/05/2018
15	50	1019	385	0	0	0	23:56:59	22/05/2018
16	51	310	316	0	0	0	0:57:00	23/05/2018
16	51	303	307	0	0	0	1:57:01	23/05/2018
16	54	308	320	0	0	0	2:57:01	23/05/2018
16	53	329	352	0	0	0	3:57:02	23/05/2018
16	55	356	394	0	0	0	4:57:03	23/05/2018
16	59	392	443	0	0	0	5:57:04	23/05/2018
0	0	0	0	0	14	18	20:51:45	23/05/2018
21	43	1023	1023	72	14	18	20:52:53	23/05/2018
21	43	1023	1023	0	14	29	21:08:09	23/05/2018
21	43	1023	1023	1170	14	29	21:23:10	23/05/2018
0	0	0	0	0	53	47	12:05:49	25/05/2018
0	0	186	166	0	53	47	12:12:03	25/05/2018
0	0	681	1020	0	53	47	11:26:29	25/05/2018

0	0	242	310	0	53	47	11:27:30	25/05/2018
0	0	307	309	0	53	47	11:27:59	25/05/2018
0	0	702	1007	0	53	47	11:28:32	25/05/2018
0	0	318	256	0	53	47	11:28:59	25/05/2018
0	0	621	865	0	53	47	11:29:34	25/05/2018
24	34	1023	1023	172	53	47	14:01:31	25/05/2018
24	34	1021	1023	172	53	47	14:02:33	25/05/2018
24	34	490	1023	172	53	47	14:03:34	25/05/2018
19	38	1023	395	197	53	47	16:37:50	16/06/2018
15	63	1023	457	0	14	56	18:42:14	16/06/2018
16	64	1023	456	0	14	56	18:47:55	16/06/2018
16	65	1023	454	0	14	55	18:50:35	16/06/2018
19	76	1023	480	0	22	29	20:50:35	16/06/2018
17	78	1023	507	0	22	29	23:06:28	16/06/2018
17	78	1023	509	559	22	29	23:07:03	16/06/2018
17	78	1023	509	703	22	29	23:07:13	16/06/2018
20	79	1023	497	0	22	29	1:06:28	17/06/2018
20	79	1023	498	511	22	29	1:07:04	17/06/2018
19	79	1023	498	641	22	29	1:07:14	17/06/2018
19	79	1023	470	0	22	29	3:06:28	17/06/2018
16	80	1023	479	0	0	0	5:06:29	17/06/2018
17	78	1023	479	0	22	29	7:06:30	17/06/2018
28	33	1023	409	0	0	0	10:25:42	17/06/2018
28	33	1023	448	0	0	0	12:25:43	17/06/2018
21	35	1023	448	0	0	0	14:25:43	17/06/2018
17	38	1023	450	0	0	0	16:25:43	17/06/2018

14	45	1023	458	0	14	55	18:25:43	17/06/2018
13	45	1023	459	0	14	56	18:39:58	17/06/2018
14	68	1023	468	0	14	59	21:39:59	17/06/2018
13	74	1023	470	0	14	59	0:40:00	18/06/2018
12	75	1023	472	0	14	58	3:40:00	18/06/2018
13	76	1023	474	0	14	59	6:40:02	18/06/2018
21	37	1023	479	0	22	28	9:40:03	18/06/2018
22	35	1023	460	0	22	26	12:40:06	18/06/2018
19	36	1023	453	0	22	19	15:40:08	18/06/2018
13	47	1023	460	0	14	56	18:40:08	18/06/2018
12	68	1023	473	0	14	58	21:40:09	18/06/2018
12	71	1023	478	0	14	59	0:40:09	19/06/2018
12	74	1023	479	0	14	59	3:40:09	19/06/2018
12	75	1023	478	0	14	58	6:40:09	19/06/2018
18	42	1023	473	0	22	28	9:40:11	19/06/2018
21	35	1023	456	0	22	24	12:40:11	19/06/2018
16	40	1023	459	0	14	54	15:40:11	19/06/2018
12	48	1023	467	0	14	58	18:40:12	19/06/2018
12	65	1023	477	0	14	59	21:40:12	19/06/2018
12	70	1023	478	0	14	59	0:40:13	20/06/2018
11	73	1023	484	0	14	58	3:40:14	20/06/2018
12	75	1023	486	0	14	58	6:40:14	20/06/2018
17	42	1023	465	0	22	27	9:40:15	20/06/2018
18	37	1023	466	0	22	27	12:40:15	20/06/2018
17	37	1023	467	0	22	27	15:40:15	20/06/2018
11	48	1023	471	0	14	59	18:40:16	20/06/2018

88	65	1023	486	0	0	0	21:40:18	20/06/2018
10	68	1023	491	0	14	59	0:40:19	21/06/2018
99	69	1023	493	0	0	0	3:40:19	21/06/2018
99	71	1023	497	0	0	0	6:40:19	21/06/2018
21	35	1023	480	0	22	28	9:40:19	21/06/2018
28	32	1023	457	0	29	52	12:40:21	21/06/2018
25	33	1023	455	0	29	43	15:40:22	21/06/2018
0	0	0	0	0	0	0	18:52:03	25/06/2018
0	0	0	0	0	0	0	7:29:06	26/06/2018
20	38	980	716	0	28	29	14:39:07	21/11/2018
18	43	957	790	0	32	38	15:17:49	21/11/2018
24	67	489	424	0	0	0	22:46:10	21/11/2018
18	68	494	480	0	0	0	1:46:11	22/11/2018
19	70	491	416	0	0	0	4:46:11	22/11/2018
30	32	487	471	0	0	0	7:46:11	22/11/2018
38	27	786	1008	0	0	0	10:46:11	22/11/2018
0	0	0	0	0	0	0	12:36:33	23/11/2018
22	35	492	697	2098	0	0	15:36:33	23/11/2018
17	39	664	709	2172	29	20	18:36:33	23/11/2018
17	41	511	745	538	0	0	21:36:33	23/11/2018
16	44	331	465	1141	0	0	0:36:36	24/11/2018
16	43	307	467	1141	0	0	3:36:36	24/11/2018
16	45	316	468	1141	0	0	6:36:36	24/11/2018
32	30	447	449	1141	0	0	9:36:36	24/11/2018
46	23	465	444	0	0	0	12:11:21	24/11/2018
26	33	371	487	0	0	0	15:11:22	24/11/2018

17	38	461	519	0	0	0	18:11:22	24/11/2018
16	39	367	527	0	0	0	21:11:22	24/11/2018
17	40	354	526	0	0	0	0:11:22	25/11/2018
17	41	332	538	0	0	0	3:11:22	25/11/2018
17	44	357	545	0	0	0	6:11:23	25/11/2018
33	29	561	680	0	0	0	9:11:23	25/11/2018
16	40	473	805	0	0	0	20:32:09	25/11/2018
26	33	542	798	0	30	12	13:54:44	26/11/2018
16	38	651	798	0	29	59	17:08:20	26/11/2018
16	38	653	796	0	29	59	17:08:30	26/11/2018
15	39	609	786	0	29	59	17:52:45	26/11/2018
15	39	694	798	53970	29	59	18:12:11	26/11/2018
15	39	691	795	53970	29	59	18:12:26	26/11/2018
15	39	710	804	53970	29	59	18:12:42	26/11/2018
15	39	560	833	54	29	59	19:51:33	26/11/2018
15	39	560	833	54	29	59	19:51:48	26/11/2018
15	39	707	789	1	29	59	19:52:04	26/11/2018
15	39	723	789	0	29	59	19:52:19	26/11/2018
15	39	727	789	0	29	59	19:52:34	26/11/2018
15	39	727	789	0	29	59	19:52:49	26/11/2018
15	39	527	760	0	29	59	20:40:10	26/11/2018
15	39	716	828	3	30	39	20:42:02	26/11/2018
15	39	716	828	3	30	39	20:42:03	26/11/2018
15	39	615	703	3	29	59	20:44:44	26/11/2018
15	39	462	718	54	0	0	23:40:10	26/11/2018
15	39	716	845	3	33	15	23:42:02	26/11/2018

15	39	716	845	3	33	15	23:42:03	26/11/2018
15	39	647	698	3	28	49	23:44:44	26/11/2018
15	40	441	713	51	0	0	2:40:10	27/11/2018
15	40	725	762	3	29	59	2:42:03	27/11/2018
15	40	725	762	3	29	59	2:42:04	27/11/2018
15	40	735	762	3	29	59	2:44:44	27/11/2018
14	41	509	792	54	0	0	5:40:10	27/11/2018
14	41	688	752	2	29	59	5:42:04	27/11/2018
14	41	688	752	2	29	59	5:42:04	27/11/2018
14	41	696	743	3	29	59	5:44:46	27/11/2018
23	34	574	741	54	29	59	8:40:11	27/11/2018
23	34	605	785	2	29	59	8:42:04	27/11/2018
23	34	605	785	2	29	59	8:42:05	27/11/2018
24	34	598	779	3	29	59	8:44:46	27/11/2018
29	31	585	822	54	30	31	11:40:12	27/11/2018
29	31	572	809	2	30	25	11:42:04	27/11/2018
29	31	572	809	2	30	25	11:42:05	27/11/2018
33	29	598	808	3	30	37	11:44:49	27/11/2018
21	35	605	842	55	30	38	14:40:12	27/11/2018
21	35	598	842	2	30	6	14:42:04	27/11/2018
21	35	598	842	2	30	6	14:42:06	27/11/2018
21	35	592	841	3	29	59	14:44:49	27/11/2018
16	38	627	829	54	30	5	17:40:12	27/11/2018
16	38	677	826	2	31	58	17:42:06	27/11/2018
16	38	677	826	2	31	58	17:42:06	27/11/2018
16	38	677	823	3	31	38	17:44:49	27/11/2018

15	39	494	771	57	0	0	20:40:12	27/11/2018
15	39	678	774	2	29	59	20:42:06	27/11/2018
15	39	656	773	3	29	59	20:42:09	27/11/2018
15	39	671	774	3	29	59	20:44:50	27/11/2018
15	39	462	708	54	0	0	23:40:13	27/11/2018
15	39	602	708	2	29	59	23:42:06	27/11/2018
15	39	628	715	3	29	59	23:42:09	27/11/2018
15	39	614	711	3	29	59	23:44:50	27/11/2018
14	41	439	699	54	0	0	2:40:13	28/11/2018
14	41	659	723	2	29	59	2:42:07	28/11/2018
14	41	627	722	3	29	59	2:42:10	28/11/2018
14	41	629	722	3	29	59	2:44:50	28/11/2018
13	41	419	716	54	0	0	5:40:13	28/11/2018
14	41	644	719	3	29	59	5:42:09	28/11/2018
14	41	644	719	3	29	59	5:42:10	28/11/2018
13	41	698	719	3	29	59	5:44:52	28/11/2018
24	34	567	740	54	29	59	8:40:13	28/11/2018
26	33	571	739	3	30	25	8:42:09	28/11/2018
26	33	571	739	3	30	25	8:42:10	28/11/2018
28	32	591	746	3	30	33	8:44:52	28/11/2018
45	23	593	820	54	38	4	11:40:13	28/11/2018
45	23	601	825	3	38	8	11:42:09	28/11/2018
45	23	601	825	3	38	8	11:42:12	28/11/2018
45	23	592	820	3	38	4	11:44:52	28/11/2018
16	39	491	735	68	0	0	22:57:06	28/11/2018
16	39	639	680	214	25	47	1:57:07	29/11/2018

15	39	441	680	46	0	0	4:57:07	29/11/2018
20	36	519	647	210	14	59	7:57:08	29/11/2018
41	25	548	722	26	37	45	10:57:09	29/11/2018
35	28	535	795	67	30	9	13:57:09	29/11/2018
18	37	608	812	54	29	59	16:57:09	29/11/2018
16	39	477	695	54	0	0	19:57:10	29/11/2018
16	39	624	638	211	14	59	22:57:11	29/11/2018
15	39	406	658	27	0	0	1:57:11	30/11/2018
14	40	554	603	211	14	59	4:57:11	30/11/2018
18	38	508	616	27	0	0	7:57:14	30/11/2018
43	24	562	682	210	37	51	10:57:15	30/11/2018
23	34	554	831	67	29	59	13:57:15	30/11/2018
18	37	649	887	53	45	2	16:57:16	30/11/2018
16	38	599	790	81	29	59	19:57:17	30/11/2018
15	39	606	851	53	32	33	22:57:18	30/11/2018
15	39	523	808	58	29	59	1:57:18	01/12/2018
14	40	440	744	54	0	0	4:57:19	01/12/2018
18	37	579	732	208	29	59	7:57:19	01/12/2018
35	28	666	950	52	46	5	10:57:19	01/12/2018
36	28	648	945	83	45	57	13:57:19	01/12/2018
21	35	652	940	81	45	59	16:57:20	01/12/2018
16	38	620	914	81	45	46	19:57:21	01/12/2018
16	38	581	912	82	45	29	22:57:21	01/12/2018
14	40	559	918	82	45	19	1:57:22	02/12/2018
12	41	535	924	80	44	59	4:57:22	02/12/2018
24	34	676	956	80	46	9	7:57:25	02/12/2018

42	25	677	985	83	46	33	10:57:25	02/12/2018
38	27	636	979	83	45	52	13:57:26	02/12/2018
18	37	657	956	78	46	1	16:57:26	02/12/2018
16	38	678	933	82	46	10	19:57:26	02/12/2018
14	39	691	926	83	45	36	22:57:27	02/12/2018
14	39	649	939	82	45	36	1:57:27	03/12/2018
14	39	617	931	80	45	36	4:57:28	03/12/2018
18	37	691	923	82	45	57	7:57:29	03/12/2018
33	29	611	976	82	45	42	10:57:30	03/12/2018
38	27	614	978	82	45	43	13:57:31	03/12/2018
18	37	669	957	81	46	6	16:57:31	03/12/2018
15	38	717	945	83	45	54	19:57:32	03/12/2018
16	38	752	952	2	46	12	21:02:49	03/12/2018
15	38	746	944	0	45	54	21:43:49	03/12/2018
15	38	718	963	8150	45	54	0:43:50	04/12/2018
14	40	658	959	8170	45	36	3:43:50	04/12/2018
16	39	698	952	8030	46	12	6:43:51	04/12/2018
35	28	674	985	8170	46	30	9:43:51	04/12/2018
38	27	637	997	8270	46	36	12:43:53	04/12/2018
19	36	678	978	8270	46	12	15:43:53	04/12/2018
15	38	747	969	8250	45	54	18:43:55	04/12/2018
14	39	770	963	7220	45	36	21:43:55	04/12/2018
13	39	688	968	8050	45	18	0:43:56	05/12/2018
13	40	688	970	8030	45	18	3:43:56	05/12/2018
12	41	757	973	7960	44	59	6:43:57	05/12/2018
20	36	710	967	5940	46	23	9:43:57	05/12/2018

20	36	710	967	5940	46	23	12:43:58	05/12/2018
20	36	710	967	5940	46	23	15:43:58	05/12/2018
14	39	762	981	8030	45	36	20:55:01	05/12/2018
14	39	736	975	8160	45	36	23:55:02	05/12/2018
12	40	709	973	8180	0	0	2:55:02	06/12/2018
12	41	776	964	20970	44	59	5:55:02	06/12/2018
30	31	675	998	7930	47	39	8:55:03	06/12/2018
46	23	694	1008	8430	0	0	11:55:03	06/12/2018
30	31	630	1001	20660	46	53	14:55:03	06/12/2018
17	37	750	995	8210	48	15	17:55:03	06/12/2018
16	38	768	972	8530	46	12	20:55:05	06/12/2018
16	39	726	978	8230	46	17	23:55:05	06/12/2018
15	39	737	978	8160	45	54	2:55:05	07/12/2018
14	40	697	977	8040	45	36	5:55:05	07/12/2018
30	31	658	986	8110	46	13	8:55:06	07/12/2018
29	31	651	996	7400	46	52	11:55:08	07/12/2018
28	32	642	1002	8270	47	22	14:55:09	07/12/2018
17	37	742	983	8160	47	17	17:55:09	07/12/2018
16	38	744	975	8370	46	12	20:55:09	07/12/2018
15	38	762	986	0	45	54	20:30:56	08/12/2018
15	38	783	985	50	45	54	20:37:06	08/12/2018
15	38	790	988	0	45	54	20:48:20	08/12/2018
15	38	787	986	0	45	54	20:54:17	08/12/2018
14	39	771	989	0	45	36	1:54:18	09/12/2018
15	38	778	987	0	45	54	6:54:18	09/12/2018
45	23	701	1014	0	50	48	11:54:19	09/12/2018

24	34	700	1012	0	50	21	16:54:19	09/12/2018
13	39	773	994	0	45	18	21:54:19	09/12/2018
12	40	831	995	0	0	0	2:54:20	10/12/2018
20	36	721	994	0	48	5	7:54:20	10/12/2018
43	24	678	1017	140	51	14	12:54:20	10/12/2018
18	37	749	1014	0	51	25	17:54:23	10/12/2018
15	38	815	1013	0	49	25	22:54:24	10/12/2018
12	40	768	998	0	0	0	3:54:25	11/12/2018
21	35	711	997	0	48	14	8:54:26	11/12/2018
30	31	660	1013	0	49	51	13:54:26	11/12/2018
16	38	833	1007	8340	49	5	18:54:27	11/12/2018
14	39	760	995	8440	45	36	23:54:27	11/12/2018
12	40	713	992	7830	0	0	4:54:27	12/12/2018
38	27	686	1007	33920	49	9	9:54:27	12/12/2018
29	31	655	1008	8500	48	41	14:54:28	12/12/2018
15	38	749	1000	110	47	3	19:54:28	12/12/2018
12	40	823	994	8010	0	0	0:54:29	13/12/2018
12	40	829	990	33330	0	0	5:54:30	13/12/2018
31	30	632	993	33760	46	4	10:54:32	13/12/2018
15	38	688	1008	7940	48	18	20:56:37	17/12/2018
14	40	697	1000	8400	45	36	1:56:38	18/12/2018
15	39	806	1001	7980	47	10	6:56:39	18/12/2018
42	25	697	1017	8460	51	30	11:56:40	18/12/2018
21	35	704	1009	9190	49	50	16:56:40	18/12/2018
16	38	718	999	8940	47	56	21:56:41	18/12/2018
13	39	719	1002	8580	45	18	2:56:42	19/12/2018

18	37	781	1000	8150	49	24	7:56:42	19/12/2018
32	30	675	1018	8900	51	28	12:56:43	19/12/2018
17	37	709	1005	9080	49	14	17:56:44	19/12/2018
15	39	704	1000	8880	47	3	22:56:44	19/12/2018
14	39	734	1001	8880	45	44	3:56:45	20/12/2018
22	35	768	1000	8310	49	24	8:56:45	20/12/2018
33	29	972	575	7880	25	20	12:35:34	20/12/2018
17	37	832	766	4460	29	59	17:35:34	20/12/2018
15	38	1005	766	5410	29	59	22:35:35	20/12/2018
14	40	1004	754	5310	29	59	3:35:35	21/12/2018
21	35	592	746	5410	29	59	8:35:36	21/12/2018
24	34	805	706	5390	25	18	13:35:36	21/12/2018
16	38	819	737	4500	29	59	18:35:36	21/12/2018
16	38	823	761	5470	29	59	23:35:37	21/12/2018
14	40	837	780	5470	29	59	4:35:37	22/12/2018
28	32	814	768	5440	31	10	9:35:37	22/12/2018
38	27	804	752	5680	38	20	14:35:38	22/12/2018
15	38	986	779	6890	29	59	19:35:38	22/12/2018
99	41	845	792	5430	0	0	0:35:39	23/12/2018
99	41	820	756	35110	0	0	5:35:39	23/12/2018
42	25	770	644	34880	29	59	10:35:40	23/12/2018
25	33	992	674	5290	20	15	15:35:40	23/12/2018
14	39	1006	706	3640	29	59	20:35:41	23/12/2018
13	39	1003	712	5400	29	59	1:35:41	24/12/2018
13	39	1005	715	5390	29	59	6:35:41	24/12/2018
31	30	795	670	5420	25	21	11:35:42	24/12/2018

24	34	793	680	1600	22	1	16:35:44	24/12/2018
13	39	1016	708	3990	29	59	21:35:45	24/12/2018
14	39	770	721	5440	29	59	2:35:45	25/12/2018
18	37	1017	717	5380	26	58	7:35:46	25/12/2018
23	34	785	712	4850	26	12	12:35:46	25/12/2018
18	37	798	716	4710	26	52	17:35:47	25/12/2018
15	38	1003	732	4840	29	59	22:35:47	25/12/2018
14	39	1011	732	5410	29	59	3:35:48	26/12/2018
29	31	784	729	5370	29	8	8:35:48	26/12/2018
46	23	808	699	5260	0	0	13:35:48	26/12/2018
19	36	758	626	33610	14	59	18:35:49	26/12/2018
15	38	1000	720	2640	29	59	23:35:49	26/12/2018
15	38	1004	729	5370	29	59	4:35:51	27/12/2018
25	33	773	725	5370	27	38	9:35:52	27/12/2018
32	30	794	717	4950	30	18	14:35:54	27/12/2018
14	39	1008	738	5440	29	59	19:35:54	27/12/2018
14	39	823	790	5370	29	59	0:35:55	28/12/2018
14	39	672	800	5390	29	59	5:35:55	28/12/2018
41	25	1007	779	5380	40	19	10:35:56	28/12/2018
26	33	834	759	7230	29	45	15:35:56	28/12/2018
15	38	846	793	40	29	59	20:35:56	28/12/2018
16	38	843	809	0	30	27	1:35:57	29/12/2018
15	38	856	813	0	29	59	6:35:57	29/12/2018
28	32	821	829	0	36	10	11:35:58	29/12/2018
24	34	981	848	0	38	43	16:35:59	29/12/2018
12	40	894	866	0	0	0	21:35:59	29/12/2018

14	39	895	871	0	38	58	2:36:00	30/12/2018
22	35	1008	876	0	43	58	7:36:00	30/12/2018
29	31	889	877	0	45	21	12:36:00	30/12/2018
19	36	907	909	0	45	19	17:36:01	30/12/2018
12	40	997	920	0	0	0	22:36:01	30/12/2018
11	40	905	919	0	0	0	3:36:02	31/12/2018
28	32	880	916	0	45	46	8:36:02	31/12/2018
45	23	981	903	0	45	54	13:36:04	31/12/2018
16	38	1003	928	0	46	12	18:36:04	31/12/2018
11	40	1001	933	0	0	0	23:36:05	31/12/2018
99	41	926	946	0	0	0	4:36:05	01/01/2019
35	28	916	932	0	47	8	9:36:06	01/01/2019
31	30	995	950	0	46	49	14:36:06	01/01/2019
15	38	949	962	0	45	54	19:36:06	01/01/2019
12	40	931	944	0	0	0	0:36:07	02/01/2019
10	41	857	962	0	44	59	5:36:08	02/01/2019
42	25	947	958	0	46	52	10:36:08	02/01/2019
25	33	1000	988	0	49	23	15:36:09	02/01/2019
14	39	970	999	0	45	36	20:36:09	02/01/2019
13	39	855	984	0	45	18	1:36:09	03/01/2019
16	38	830	975	0	46	12	6:36:10	03/01/2019
29	31	940	995	2590	49	20	11:36:10	03/01/2019
28	32	997	542	0	21	23	12:04:59	03/01/2019
30	31	792	853	990	40	14	9:47:27	07/01/2019
39	26	730	684	6350	34	11	10:47:28	07/01/2019
35	28	986	670	4820	30	10	11:47:28	07/01/2019

43	24	978	753	0	38	2	12:47:29	07/01/2019
29	31	987	676	6140	24	10	13:47:29	07/01/2019
24	34	987	652	3900	15	31	14:47:29	07/01/2019
22	35	995	655	2540	16	16	15:47:30	07/01/2019
19	36	996	646	2650	14	59	16:47:30	07/01/2019
17	37	994	648	2440	14	59	17:47:31	07/01/2019
16	38	551	651	2450	16	40	18:47:31	07/01/2019
15	38	553	653	2700	19	19	19:47:32	07/01/2019
15	39	558	654	3150	20	1	20:47:32	07/01/2019
15	39	555	652	3250	17	54	21:47:32	07/01/2019
15	39	552	649	2910	14	59	22:47:33	07/01/2019
15	39	657	648	2430	14	59	23:47:33	07/01/2019
15	39	549	643	2440	14	59	0:47:34	08/01/2019
15	39	548	641	2450	14	59	1:47:34	08/01/2019
14	40	481	555	2440	0	0	2:47:35	08/01/2019
14	40	457	521	90	0	0	3:47:36	08/01/2019
14	40	490	564	0	0	0	4:47:37	08/01/2019
14	40	480	551	2380	0	0	5:47:37	08/01/2019
14	40	477	548	990	0	0	6:47:37	08/01/2019
19	36	465	550	0	0	0	7:47:38	08/01/2019
27	32	431	539	670	0	0	8:47:38	08/01/2019
36	28	993	541	0	29	59	9:47:38	08/01/2019
32	30	994	553	430	23	55	10:47:39	08/01/2019
26	33	990	554	2750	18	46	11:47:39	08/01/2019
29	31	990	559	1690	21	40	12:47:39	08/01/2019
29	31	991	558	3440	21	41	13:47:40	08/01/2019

25	33	989	562	3510	17	2	14:47:40	08/01/2019
22	35	936	563	2750	14	59	15:47:41	08/01/2019
20	36	984	562	2430	14	59	16:47:42	08/01/2019
17	37	994	561	2430	14	59	17:47:42	08/01/2019
16	38	479	561	2440	0	0	18:47:43	08/01/2019
15	38	485	568	3010	0	0	19:47:43	08/01/2019
15	38	473	550	3230	0	0	20:47:44	08/01/2019
15	39	490	571	0	0	0	21:47:44	08/01/2019
15	39	427	489	3720	0	0	22:47:46	08/01/2019
14	40	448	517	0	0	0	23:47:47	08/01/2019
15	40	435	497	0	0	0	0:47:47	09/01/2019
14	40	454	521	0	0	0	1:47:48	09/01/2019
14	40	474	544	0	0	0	2:47:48	09/01/2019
13	40	815	943	0	45	18	3:47:48	09/01/2019
14	40	796	925	6290	45	36	4:47:49	09/01/2019
12	41	836	969	6230	44	59	5:47:49	09/01/2019
13	40	790	922	6240	45	18	6:47:50	09/01/2019
17	37	754	909	6220	45	24	7:47:50	09/01/2019
29	31	754	904	6010	46	22	8:47:51	09/01/2019
35	28	1006	342	250	0	0	9:47:51	09/01/2019
36	28	1005	424	0	0	0	10:47:51	09/01/2019
43	24	988	513	0	29	58	11:47:52	09/01/2019
43	24	981	553	0	29	59	12:47:54	09/01/2019
31	30	987	568	980	23	30	13:47:55	09/01/2019
31	30	983	589	560	23	30	14:47:57	09/01/2019
23	34	988	596	340	14	59	15:47:58	09/01/2019

21	35	764	611	10	14	59	16:47:58	09/01/2019
18	37	996	616	0	14	59	17:47:59	09/01/2019
16	38	527	617	0	14	59	18:47:59	09/01/2019
16	38	528	618	0	14	59	19:47:59	09/01/2019
15	38	520	610	0	14	59	20:48:00	09/01/2019
16	38	518	608	0	14	59	21:48:00	09/01/2019
15	38	514	601	0	14	59	22:48:01	09/01/2019
15	38	498	581	0	0	0	23:48:01	09/01/2019
15	39	504	586	0	0	0	0:48:01	10/01/2019
15	39	510	597	0	0	0	1:48:02	10/01/2019
15	39	518	599	0	14	59	2:48:03	10/01/2019
15	39	510	591	0	0	0	3:48:03	10/01/2019
15	39	517	598	0	14	59	4:48:04	10/01/2019
15	39	516	597	0	14	59	5:48:04	10/01/2019
15	39	521	601	0	14	59	6:48:05	10/01/2019
16	39	516	605	0	14	59	7:48:07	10/01/2019
19	36	507	606	0	0	0	8:48:07	10/01/2019
27	32	480	606	0	0	0	9:48:07	10/01/2019
28	32	698	606	0	22	10	10:48:08	10/01/2019
25	33	986	604	250	16	46	11:48:09	10/01/2019
28	32	985	593	1600	20	27	12:48:09	10/01/2019
32	30	978	575	2540	24	24	13:48:10	10/01/2019
34	29	984	558	2240	26	17	14:48:10	10/01/2019
26	33	971	565	1950	18	35	15:48:10	10/01/2019
22	35	971	563	1950	14	59	16:48:11	10/01/2019
17	37	975	564	1490	14	59	17:48:11	10/01/2019

16	38	488	571	1400	0	0	18:48:12	10/01/2019
15	38	485	567	3590	0	0	19:48:13	10/01/2019
15	38	486	568	3360	0	0	20:48:13	10/01/2019
15	38	485	567	3260	0	0	21:48:14	10/01/2019
15	38	486	568	3110	0	0	22:48:17	10/01/2019
15	38	486	568	2950	0	0	23:48:18	10/01/2019
15	38	463	536	730	0	0	0:48:18	11/01/2019
15	38	478	554	0	0	0	1:48:19	11/01/2019
14	40	480	554	30	0	0	2:48:19	11/01/2019
14	40	460	527	260	0	0	3:48:19	11/01/2019
14	40	476	544	0	0	0	4:48:20	11/01/2019
14	40	484	559	0	0	0	5:48:20	11/01/2019
14	40	485	560	300	0	0	6:48:20	11/01/2019
16	39	477	558	290	0	0	7:48:21	11/01/2019
21	35	465	560	280	0	0	8:48:21	11/01/2019
30	31	435	551	270	0	0	9:48:22	11/01/2019
32	30	671	557	0	22	29	10:48:24	11/01/2019
38	27	991	562	310	29	59	11:48:27	11/01/2019
41	25	976	544	400	29	59	12:48:27	11/01/2019
42	25	979	547	330	29	59	13:48:28	11/01/2019
36	28	952	552	330	29	59	14:48:29	11/01/2019
24	34	622	560	350	14	59	15:48:30	11/01/2019
21	35	974	582	240	14	59	16:48:31	11/01/2019
19	36	981	571	490	14	59	17:48:32	11/01/2019
16	38	503	590	680	0	0	18:48:32	11/01/2019
16	38	495	581	1730	0	0	19:48:33	11/01/2019

16	38	497	587	1710	0	0	20:48:34	11/01/2019
16	38	499	585	1720	0	0	21:48:34	11/01/2019
15	38	499	584	1710	0	0	22:48:36	11/01/2019
15	38	498	583	1690	0	0	23:48:37	11/01/2019
15	38	500	583	1670	0	0	0:48:38	12/01/2019
14	39	502	583	1660	0	0	1:48:39	12/01/2019
14	39	502	581	1670	0	0	2:48:39	12/01/2019
14	39	503	582	1660	0	0	3:48:39	12/01/2019
14	39	503	583	1660	0	0	4:48:40	12/01/2019
14	39	504	585	1650	0	0	5:48:41	12/01/2019
14	39	493	573	1660	0	0	6:48:42	12/01/2019
17	37	483	573	1680	0	0	7:48:43	12/01/2019
29	31	978	569	1670	21	29	8:48:43	12/01/2019
38	27	643	569	910	29	59	9:48:44	12/01/2019
46	23	989	569	1200	0	0	10:48:47	12/01/2019
47	22	684	558	1680	0	0	11:48:48	12/01/2019
46	23	680	558	1650	0	0	12:48:48	12/01/2019
46	23	679	558	1630	0	0	13:48:48	12/01/2019
35	28	730	568	1610	27	34	14:48:50	12/01/2019
24	34	688	587	1120	14	59	15:48:50	12/01/2019
19	36	708	601	610	14	59	16:48:51	12/01/2019
17	37	989	599	610	14	59	17:48:53	12/01/2019
16	38	508	597	620	0	0	18:48:53	12/01/2019
16	38	497	585	1630	0	0	19:48:53	12/01/2019
16	38	503	594	1640	0	0	20:48:55	12/01/2019
16	38	512	601	1650	0	0	21:48:57	12/01/2019

16	38	515	604	1600	14	59	22:48:57	12/01/2019
16	38	528	617	610	14	59	23:48:58	12/01/2019
15	38	525	613	630	14	59	0:48:58	13/01/2019
15	39	520	605	620	14	59	1:49:00	13/01/2019
15	39	515	602	630	14	59	2:49:01	13/01/2019
15	39	518	599	630	14	59	3:49:01	13/01/2019
15	39	519	603	630	14	59	4:49:02	13/01/2019
15	39	522	606	640	14	59	5:49:02	13/01/2019
16	39	525	613	640	14	59	6:49:03	13/01/2019
28	32	485	614	640	0	0	7:49:03	13/01/2019
29	31	474	605	1640	0	0	8:49:04	13/01/2019
34	29	489	594	1610	0	0	9:49:04	13/01/2019
38	27	668	597	1580	29	59	10:49:04	13/01/2019
35	28	973	602	1190	28	9	11:49:07	13/01/2019
38	27	967	618	1140	29	59	12:49:08	13/01/2019
33	29	967	619	1230	25	36	13:49:08	13/01/2019
29	31	715	624	1050	22	29	14:49:09	13/01/2019
24	34	971	632	930	14	59	15:49:10	13/01/2019
22	35	970	642	640	14	59	16:49:11	13/01/2019
17	37	964	643	640	14	59	17:49:13	13/01/2019
16	38	548	644	630	14	59	18:49:14	13/01/2019
16	38	543	639	650	14	59	19:49:14	13/01/2019
16	38	523	613	660	14	59	20:49:17	13/01/2019
16	38	521	607	670	14	59	21:49:18	13/01/2019
15	38	527	616	660	14	59	22:49:19	13/01/2019
15	38	539	630	660	14	59	23:49:20	13/01/2019

15	38	542	633	660	14	59	0:49:21	14/01/2019
15	39	545	635	670	14	59	1:49:22	14/01/2019
15	39	546	639	660	14	59	2:49:23	14/01/2019
14	39	558	649	660	14	59	3:49:23	14/01/2019
14	40	563	652	660	17	30	4:49:24	14/01/2019
14	40	567	657	780	21	49	5:49:26	14/01/2019
14	40	563	656	950	21	24	6:49:28	14/01/2019
22	35	534	655	930	25	9	7:49:29	14/01/2019
34	29	764	649	740	26	6	8:49:30	14/01/2019
31	30	676	642	690	22	29	9:49:30	14/01/2019
39	26	701	671	490	33	1	10:49:30	14/01/2019
33	29	986	658	520	26	23	11:49:32	14/01/2019
24	34	718	681	90	23	26	12:49:32	14/01/2019
36	28	986	704	0	34	49	13:49:33	14/01/2019
21	35	969	714	0	25	15	14:49:34	14/01/2019
0	0	0	0	0	0	0	15:49:36	14/01/2019
20	36	683	728	0	29	59	16:49:37	14/01/2019
18	37	608	732	0	29	59	17:49:37	14/01/2019
16	38	625	743	0	29	59	18:49:39	14/01/2019
16	38	635	752	0	29	59	19:49:39	14/01/2019
16	38	638	757	0	29	59	20:49:40	14/01/2019
15	38	646	760	0	29	59	21:49:40	14/01/2019
14	39	654	762	0	29	59	22:49:41	14/01/2019
14	39	654	766	0	29	59	23:49:41	14/01/2019
14	39	660	770	0	29	59	0:49:42	15/01/2019
14	39	662	774	0	29	59	1:49:42	15/01/2019

13	39	667	777	0	29	59	2:49:43	15/01/2019
0	0	0	0	0	0	0	3:49:43	15/01/2019
14	40	674	784	0	29	59	4:49:44	15/01/2019
13	40	676	785	0	29	59	5:49:44	15/01/2019
14	40	670	786	0	29	59	6:49:47	15/01/2019
19	36	650	788	0	29	59	7:49:47	15/01/2019
35	28	827	780	0	38	34	8:49:48	15/01/2019
29	31	985	775	0	32	6	9:49:49	15/01/2019
25	33	974	798	0	32	59	10:49:49	15/01/2019
33	29	980	805	0	37	10	11:49:50	15/01/2019
43	24	981	803	0	39	50	12:49:50	15/01/2019
29	31	975	808	0	34	28	13:49:51	15/01/2019
24	34	971	818	0	34	57	14:49:51	15/01/2019
24	34	973	823	0	35	30	15:49:52	15/01/2019
21	35	973	827	0	35	54	16:49:52	15/01/2019
18	37	835	830	0	34	46	17:49:53	15/01/2019
16	38	698	832	0	32	55	18:49:54	15/01/2019
16	38	700	834	0	33	12	19:49:54	15/01/2019
16	38	708	838	0	33	46	20:49:56	15/01/2019
15	38	711	838	0	32	3	21:49:57	15/01/2019
15	38	714	841	0	32	32	22:49:57	15/01/2019
15	38	712	842	0	32	43	23:49:58	15/01/2019
15	38	716	845	0	33	15	0:49:58	16/01/2019
14	39	726	848	0	31	14	1:49:59	16/01/2019
13	39	732	851	0	29	59	2:49:59	16/01/2019
12	40	742	855	0	0	0	3:50:00	16/01/2019

12	40	742	858	0	0	0	4:50:00	16/01/2019
12	40	747	861	0	0	0	5:50:01	16/01/2019
12	40	745	864	0	0	0	6:50:01	16/01/2019
19	36	711	865	0	39	58	7:50:02	16/01/2019
21	35	685	864	0	39	12	8:50:02	16/01/2019
29	31	877	861	0	41	31	9:50:03	16/01/2019
30	31	844	813	4180	34	56	10:50:03	16/01/2019
30	31	974	810	0	34	40	11:50:04	16/01/2019
30	31	967	809	5910	34	35	12:50:06	16/01/2019
28	32	980	817	6050	35	13	13:50:07	16/01/2019
36	28	981	812	6160	42	31	14:50:07	16/01/2019
26	33	812	819	6840	34	27	15:50:08	16/01/2019
23	34	942	820	5850	35	10	16:50:08	16/01/2019
19	36	952	823	6100	34	39	17:50:09	16/01/2019
15	38	828	821	5900	29	59	18:50:09	16/01/2019
14	39	707	823	5000	29	59	19:50:10	16/01/2019
14	39	707	824	5100	29	59	20:50:11	16/01/2019
13	39	714	826	5050	29	59	21:50:12	16/01/2019
14	39	713	829	4920	29	59	22:50:13	16/01/2019
15	38	707	829	5000	30	46	23:50:14	16/01/2019
14	39	714	830	5120	29	59	0:50:16	17/01/2019
14	39	711	831	4990	29	59	1:50:17	17/01/2019
14	39	714	833	5010	29	59	2:50:18	17/01/2019
14	39	712	833	5110	29	59	3:50:19	17/01/2019
14	39	688	806	5170	29	59	4:50:19	17/01/2019
14	39	686	802	5140	29	59	5:50:20	17/01/2019

15	38	687	808	5070	29	59	6:50:21	17/01/2019
17	37	669	806	5100	29	59	7:50:21	17/01/2019
18	37	668	816	5140	30	33	8:50:22	17/01/2019
24	34	634	807	5160	29	59	9:50:22	17/01/2019
23	34	812	785	4990	31	44	10:50:23	17/01/2019
33	29	958	811	5280	37	30	11:50:23	17/01/2019
27	32	963	823	5120	35	45	12:50:24	17/01/2019
28	32	966	805	3130	34	12	13:50:24	17/01/2019
31	30	865	850	5550	40	32	14:50:26	17/01/2019
25	33	859	847	6400	38	8	15:50:27	17/01/2019
23	34	984	849	6140	38	51	16:50:27	17/01/2019
17	37	828	830	6470	33	53	17:50:28	17/01/2019
14	39	827	833	5700	29	59	18:50:28	17/01/2019
15	38	715	835	4940	31	36	19:50:29	17/01/2019
16	38	693	821	5250	31	37	20:50:30	17/01/2019
16	38	684	811	5350	30	38	21:50:30	17/01/2019
13	39	670	775	5200	29	59	22:50:31	17/01/2019
13	39	670	776	4970	29	59	23:50:31	17/01/2019
15	38	706	829	5160	30	46	0:50:32	18/01/2019
14	39	709	829	5260	29	59	1:50:32	18/01/2019
15	38	697	816	4990	29	59	2:50:33	18/01/2019
14	39	695	815	5010	29	59	3:50:34	18/01/2019
14	39	696	814	4990	29	59	4:50:37	18/01/2019
14	39	699	816	5000	29	59	5:50:37	18/01/2019
15	38	702	822	5020	29	59	6:50:38	18/01/2019
18	37	680	826	5120	32	5	7:50:38	18/01/2019

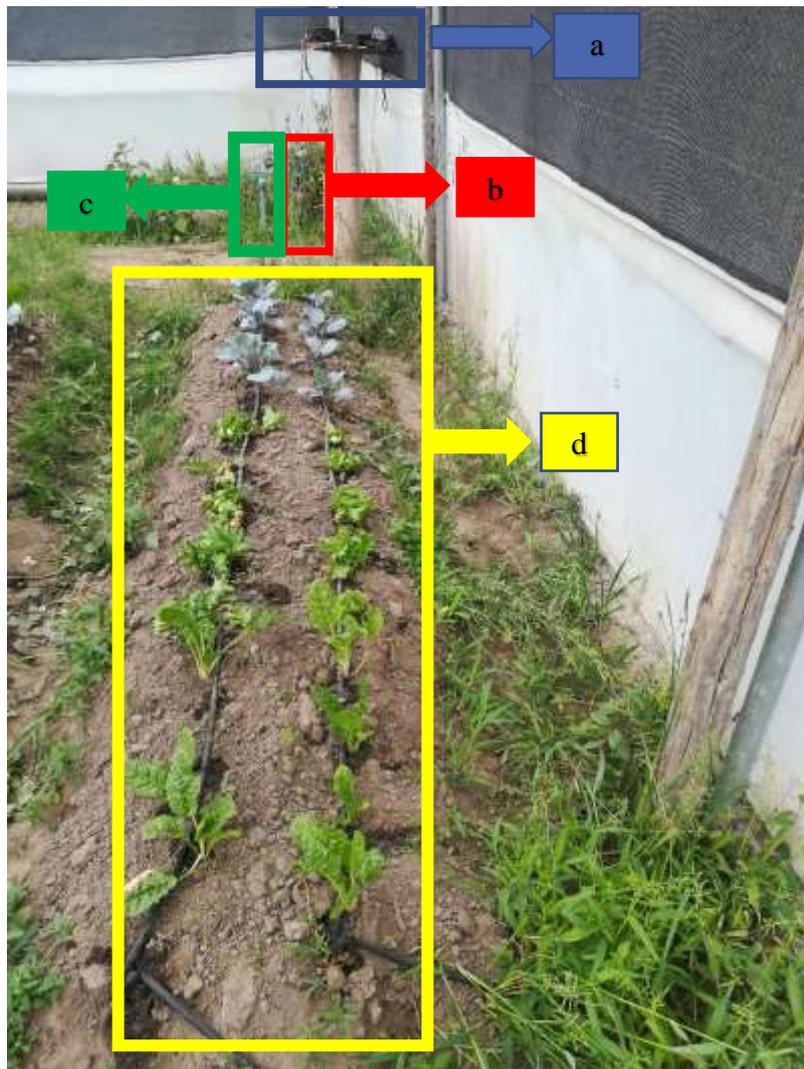
28	32	536	378	2810	0	0	9:50:39	18/01/2019
26	33	953	385	2810	0	0	10:50:40	18/01/2019
31	30	958	305	0	0	0	11:50:41	18/01/2019
33	29	956	346	0	0	0	12:50:41	18/01/2019
35	28	954	302	0	0	0	13:50:41	18/01/2019
32	30	941	368	0	0	0	14:50:42	18/01/2019
25	33	931	391	0	0	0	15:50:43	18/01/2019
24	34	930	567	0	14	59	16:50:44	18/01/2019
20	36	969	651	1300	15	17	17:50:44	18/01/2019
17	37	966	674	2570	21	55	18:50:47	18/01/2019
16	38	615	725	3740	29	59	19:50:48	18/01/2019
14	39	703	824	5080	29	59	20:50:48	18/01/2019
15	38	421	468	1060	0	0	21:50:49	18/01/2019
15	38	419	474	0	0	0	22:50:49	18/01/2019
15	38	650	766	0	29	59	23:50:50	18/01/2019
15	38	653	771	5020	29	59	0:50:50	19/01/2019
15	38	620	729	5060	29	59	1:50:51	19/01/2019
15	38	300	304	720	0	0	2:50:52	19/01/2019
15	38	297	300	0	0	0	3:50:52	19/01/2019
14	39	316	329	0	0	0	4:50:52	19/01/2019
14	39	346	370	0	0	0	5:50:53	19/01/2019
15	38	282	277	0	0	0	6:50:53	19/01/2019
25	33	187	158	0	0	0	7:50:54	19/01/2019
23	34	173	128	0	0	0	8:50:54	19/01/2019
27	32	358	101	0	0	0	9:50:56	19/01/2019
29	31	960	106	0	0	0	10:50:57	19/01/2019

34	29	959	117	0	0	0	11:50:57	19/01/2019
35	28	970	104	0	0	0	12:50:58	19/01/2019
27	32	945	104	0	0	0	13:50:58	19/01/2019
30	31	960	104	0	0	0	14:51:00	19/01/2019
26	33	950	104	0	0	0	15:51:00	19/01/2019
25	33	951	104	0	0	0	16:51:00	19/01/2019
20	36	954	104	0	0	0	17:51:01	19/01/2019
17	37	182	128	0	0	0	18:51:01	19/01/2019
15	38	202	158	0	0	0	19:51:03	19/01/2019
15	38	213	174	0	0	0	20:51:03	19/01/2019
15	38	217	179	0	0	0	21:51:04	19/01/2019
15	38	188	135	0	0	0	22:51:04	19/01/2019
15	38	187	134	0	0	0	23:51:06	19/01/2019
15	38	205	161	0	0	0	0:51:08	20/01/2019
15	38	190	137	0	0	0	1:51:08	20/01/2019
14	39	236	210	0	0	0	2:51:09	20/01/2019
14	39	168	100	0	0	0	3:51:09	20/01/2019
14	39	192	143	0	0	0	4:51:10	20/01/2019
14	39	168	100	0	0	0	5:51:10	20/01/2019
15	38	225	190	0	0	0	6:51:11	20/01/2019
20	36	167	111	0	0	0	7:51:11	20/01/2019
26	33	174	141	0	0	0	8:51:12	20/01/2019
28	32	471	279	0	0	0	9:51:12	20/01/2019
28	32	965	927	0	45	46	10:51:13	20/01/2019
32	30	810	752	6630	32	42	11:51:13	20/01/2019
39	26	612	453	2680	29	53	12:51:14	20/01/2019

35	28	981	569	70	28	0	13:51:14	20/01/2019
31	30	977	513	1800	22	29	14:51:16	20/01/2019
25	33	970	479	230	20	8	15:51:17	20/01/2019
22	35	932	448	40	0	0	16:51:19	20/01/2019
18	37	404	463	0	0	0	17:51:19	20/01/2019
16	38	403	455	0	0	0	18:51:20	20/01/2019
16	38	404	453	0	0	0	19:51:20	20/01/2019
16	38	448	516	0	0	0	20:51:21	20/01/2019
15	38	473	548	0	0	0	21:51:21	20/01/2019
15	38	504	586	0	0	0	22:51:22	20/01/2019
15	38	463	534	120	0	0	23:51:22	20/01/2019
15	38	459	527	0	0	0	0:51:23	21/01/2019
15	38	508	587	0	0	0	1:51:23	21/01/2019
15	38	646	758	1150	29	59	2:51:24	21/01/2019
14	39	488	565	5210	0	0	3:51:24	21/01/2019
12	40	492	561	160	0	0	4:51:26	21/01/2019
13	39	507	579	80	0	0	5:51:27	21/01/2019
14	39	480	553	240	0	0	6:51:27	21/01/2019
36	28	957	975	0	48	14	15:15:07	25/01/2019
28	32	982	973	0	48	5	15:56:20	25/01/2019
28	32	982	970	50	47	52	15:57:02	25/01/2019
45	23	984	1003	0	15	56	2:36:03	04/02/2019
27	32	1003	997	1190	16	0	5:36:04	04/02/2019
17	37	820	994	1170	15	10	8:36:05	04/02/2019
16	38	812	1000	1110	15	6	11:36:07	04/02/2019
16	38	804	1001	1110	15	9	14:36:08	04/02/2019

15	38	819	1000	1110	14	43	17:36:11	04/02/2019
19	36	800	1001	1080	15	49	20:36:12	04/02/2019
46	23	575	462	10	0	0	23:28:32	04/02/2019
21	35	474	568	0	0	0	5:28:33	05/02/2019
16	38	478	552	0	0	0	11:28:36	05/02/2019
14	39	469	546	490	0	0	17:28:37	05/02/2019
47	22	628	480	0	0	0	11:37:09	08/02/2019
49	21	640	468	0	7	58	12:16:02	08/02/2019
16	38	455	525	0	0	0	20:16:03	08/02/2019
15	38	464	527	0	0	0	4:16:04	09/02/2019
32	30	391	487	0	0	0	12:16:05	09/02/2019
16	38	429	487	0	0	0	20:16:06	09/02/2019
14	39	435	488	0	0	0	4:16:06	10/02/2019
28	32	374	423	0	0	0	9:11:57	13/02/2019
16	38	393	435	0	0	0	21:11:58	13/02/2019
32	30	333	378	0	0	0	9:11:59	14/02/2019
14	39	420	464	0	0	0	21:12:00	14/02/2019
38	27	477	501	0	0	0	9:12:00	15/02/2019
17	37	415	453	0	0	0	21:12:01	15/02/2019
38	27	339	385	0	0	0	9:12:02	16/02/2019
17	37	454	482	0	0	0	21:12:03	16/02/2019
39	26	377	405	0	0	0	9:12:04	17/02/2019
16	38	485	513	0	0	0	21:12:04	17/02/2019
25	33	449	486	0	0	0	9:12:07	18/02/2019
15	38	521	575	0	3	59	21:12:07	18/02/2019
27	32	640	831	0	10	34	9:12:09	19/02/2019

ANEXO 12: Área de hortalizas con riego inteligente.



- a) Arduino. Xbee, Fuente eléctrica; b) llave del riego inteligente; c) llave del riego manual; d) parcela con riego lógica difusa