



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES
MEDIANTE UNA WASPMOTE CON EL PROTOCOLO 802.15.4 PARA
EL PROCESAMIENTO DE DATOS Y CONTROL MEDIANTE
LÓGICA DIFUSA, QUE PERMITA LA OPTIMIZACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN EN UN CULTIVO AGRÍCOLA EN EL CANTÓN
RIOBAMBA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

MARÍA FERNANDA MÁRQUEZ ZURITA

Trabajo de Titulación modalidad: Proyecto de Investigación y Desarrollo presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGISTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

RIOBAMBA – ECUADOR

Mayo 2019

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo titulado “Diseño e implementación de una red de sensores mediante una waspmote con el protocolo 802.15.4 para el procesamiento de datos y control mediante lógica difusa, que permita la optimización de la producción en un cultivo agrícola en el cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo.”, de responsabilidad de la Srta. María Fernanda Márquez ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

TRIBUNAL

DRA. PATRICIA CHICO LÓPEZ, MSc.

PRESIDENTE

FIRMA

ING. Cristina Orozco Cazco MSc.

DIRECTORA

FIRMA

ING. José Luis Jinez Tapia. MSc.

MIEMBRO

FIRMA

ING. Oswaldo Martínez Guashima, MSc.

MIEMBRO

FIRMA

Riobamba, Mayo 2019

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, María Fernanda Márquez, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

MARÍA FERNANDA MÁRQUEZ
No. Cédula: 0603467770

©2019, María Fernanda Márquez Zurita

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, María Fernanda Márquez, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

MARÍA FERNANDA MÁRQUEZ ZURITA

No. Cédula: 060346777-0

DEDICATORIA

A mis queridos padres que contribuyeron con su apoyo estando conmigo en los buenos y en los malos momentos, a mis hermanos por sus valiosos criterios y soporte incondicional en el desarrollo y la culminación de la Tesis.

CONTENIDO

Resumen.....	xviii
Abstract.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	1
1.2 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.	2
INTRODUCCIÓN.....	4
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	6
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.5 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.5.1 Objetivo General.	8
1.5.2 Objetivos Específicos.....	8
1.6 HIPÓTESIS GENERAL.	9
CAPÍTULO II	10
MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 BASES TEÓRICAS.....	10
2.1.1 Redes De Sensores.....	10
2.1.2 Red De Sensores Inalámbricos (Wireless Sensor Network, Wsn).....	10
2.1.3 Tipos De Redes Inalámbricas.....	11
2.1.4 Tecnologías Para Enlaces Inalámbricos.....	12
2.1.5 Protocolo de Comunicación de la Red Inalámbrica Zigbee.....	13
2.2 TOPOLOGÍA.....	14
2.2.1 Topología Estrella.	14
2.2.2 Topología de punto a punto.....	15
2.2.3 Topología jerárquica (árbol).	16
2.2.4 Topología de malla.....	16
2.3 TIPOS DE DISPOSITIVOS DE LA RED ZIGBEE.	17
2.4 DISPOSITIVOS QUE SE UTILIZAN EN LA RED 802.15.4/ZIGBEE.	18
2.4.1 Dispositivos seleccionados para la Red con estándar 802.15.4.	18
2.4.2 Accesorios utilizados para la Red con estándar 802.15.4.	18
2.5 DESCRIPCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS.....	18
2.5.1 Dispositivo coordinador XBee-PRO S1.....	18
2.5.2 Módulo XBee-PRO serie 1.	19
2.5.3 Waspnote Gateway USB.....	21

2.6	TARJETA WASPMOTE DISPOSITIVO FINAL.	23
2.6.1	Estructura de la Parte Posterior de la Tarjeta Waspnote (Dispositivo Final).	24
2.7	UBICACIÓN DE LOS PUERTOS DE COMUNICACIÓN DE LA WASPMOTE I/O.....	24
2.8	IDENTIFICACIÓN DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE LOS PUERTOS DE LA TARJETA WASPMOTE.	25
2.8.1	Identificación del conector Auxiliar SPI-UART.....	25
2.8.2	Conector de pines analógicos.....	26
2.8.3	Pines digitales.	26
2.8.4	Diagrama de señales en el bloque principal para la waspmote.	26
2.8.5	Diagrama Eléctrico de Alimentación de la Waspnote.	27
2.8.6	LED.....	27
2.8.7	RTC Watchdog para el reseteo de la Waspnote.....	28
2.8.8	Waspnote Agriculture v3.0.	29
2.8.8.1	Especificaciones del sensor multiparámetro (temperatura, humedad y presión).	30
2.9	SOFTWARE UTILIZADOS.....	32
2.9.1	Software X-CTU.	32
2.9.2	Waspnote Pro IDE v06.	32
2.10	LÓGICA DIFUSA.	32
2.10.1	Características.	33
2.10.2	Aplicaciones.....	34
2.10.3.	Control Difuso.....	35
2.10.4	Clasificación de modelos difusos.....	36
2.10.5	Modelo Difuso Takagi-Sugeno.	37
2.11	ASPECTOS TÉCNICOS PARA CULTIVOS DE FRÉJOL.	40
2.11.1	Suelos y su Conservación.....	41
2.11.2	Siembra.	43
2.12.3	Sistemas De Siembra.....	44
	CAPÍTULO III.....	45
	METODOLOGÍA PROPUESTA	46
3.1	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES.....	46
3.1.1	Análisis del entorno agrario.	47
3.12.2	Diseño del nivel de red.....	53
3.12.3	Elección del tipo de direccionamiento y encaminamiento.....	54
3.2	MONTAJE DEL DISPOSITIVO COORDINADOR XBEE (ZC).....	57
3.2.1	Montaje del Dispositivo Final y Sensor.	58
3.3	CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS QUE ACTUARÁN COMO NODOS FINALES Y EL COORDINADOR.	60

3.4	PROGRAMACIÓN DE LOS WASPMOTES.....	66
3.4.1	Mensaje Keepalive.....	66
3.5	PROGRAMACIÓN DE LOS NODOS.....	68
3.6	LIMITACIONES Y ALCANCES DE LA RED DE SENSORES IMPLEMENTADA.....	69
3.7	DESARROLLO DEL CONTROL MEDIANTE LÓGICA DIFUSA UTILIZANDO EL MÉTODO DE TAKAGI- SUGENO.....	72
3.7.1	Descripción de las variables.....	72
3.7.2	Desarrollo del controlador Difuso.....	73
3.7.3	Fusificación del sistema.....	74
3.8	CONTRASTE DEL CONTROL UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA, Y CONTROLADORES CONVENCIONALES.....	82
3.8.1	Controlador Convencional.....	83
3.8.2	Controlador de Lógica Difusa.....	85
3.8.3	Contraste entre controladores.....	86
3.8.4	Análisis de los datos obtenidos con el controlador convencional.....	87
3.8.5	Análisis del Controlador Difuso del Proyecto.....	88
3.8.6	Contraste de Resultados de las Gráficas de los Controladores.....	90
3.9	COSTOS Y MATERIALES.....	91
	CAPÍTULO IV.....	92
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	92
4.1	T STUDENTS PARA MUESTRAS RELACIONADAS, VERIFICANDO LA OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO POR EL # DE VAINAS.....	101
	CONCLUSIONES.....	106
	RECOMENDACIONES.....	107
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Clasificación de las redes inalámbricas	11
Figura 2-2: Modelo OSI y (802.15.4/ZigBee)	14
Figura 3-2: Topología estrella.....	15
Figura 4-2: Topología punto a punto (peer to peer)	15
Figura 5-2: Topología árbol (jerárquica)	16
Figura 6-2: Topología malla (mesh)	17
Figura 7-2: Identificación de los dispositivos en la red	18
Figura 8-2: Coordinador /Gateway.	19
Figura 9-2: XBee PRO serie 1 y antena de 2Ghz	20
Figura 10-2: Dimensiones del módulo XBee	21
Figura 11-2: Waspnote Gateway USB	21
Figura 12-2: Funciones de Waspnote/Gateway.....	22
Figura 13-2: Estructura de la Tarjeta Waspnote (Frontal).....	24
Figura 14-2: Estructura de la parte posterior de la Waspnote	24
Figura 15-2: Ubicación de los puertos de comunicación en la Waspnote.....	25
Figura 16-2: Identificación de pines de conexión.....	25
Figura 17-2: Pines de conector SPI-UART	25
Figura 18-2: Diagrama de bloques componentes de la Waspnote.....	27
Figura 19-2: Diagrama de alimentación de la Waspnote.....	27
Figura 20-2: Luces Leds de la Waspnote	28
Figura 21-2: Interruptor RTC Watchdog.....	29
Figura 22-2: Diagrama de conexión de los sensores.....	30
Figura 23-2: Sensor multiparámetro	31

Figura 24-2: Dispositivos que utilizan lógica difusa.....	34
Figura 25-2: Diagrama de bloques del sistema de control con lógica difusa	35
Figura 26-2: Diagrama de bloques de un control difuso genérico.....	36
Figura 27-2: Sistema Difuso Takagi-Sugeno, Procesamiento General	37
Figura 28-2: Partes que se divide la regla.....	38
Figura 29-2: Etapas de desarrollo del cultivo	45
Figura 1-3: Invernadero red de sensores ubicada	46
Figura 2-3: Ubicación donde se construyó el invernadero	47
Figura 3-3: Instalación del plástico en el invernadero.....	47
Figura 4-3: Sistema de riego	48
Figura 5-3: Resultado del análisis de suelo	48
Figura 6-3: Proceso de siembra del Fréjol Toa.....	50
Figura 7-3: Evolución del crecimiento de la planta	50
Figura 8-3: Evolución del crecimiento de la planta.....	51
Figura 9-3: Guía de las plantas	51
Figura 10-3: Floración del Fréjol.....	51
Figura 11-3: Etapa de crecimiento de la planta	52
Figura 12-3: Planta de Fréjol, frutos.....	52
Figura 13-3: Estructura lógica de la red.....	53
Figura 14-3: Algoritmo de encaminamiento.....	55
Figura 15-3: Módulo XBee PRO S1 con Gateway y antena	57
Figura 16-3: Montaje del XBee Pro serie1 en el Gateway USB	57
Figura 17-3: Montaje de la antena en la XBee PRO serie 1	57
Figura 18-3: Elementos del Dispositivo final y sensor.....	58
Figura 19-3 Colocación del XBee pro serie 1 en la Waspote	58

Figura 20-3: Colocación de la Waspote Agriculture	58
Figura 21-3: Colocación de los sensores en la Waspote.....	59
Figura 22-3: Colocación y ajuste de la antena (2,4GHZ)	59
Figura 23-3: Ubicación de la batería en la Waspote.....	59
Figura 24-3: Pantalla principal de X-CTU	60
Figura 25-3: Pantalla para escoger el puerto COM	61
Figura 26-3: Configuración del Coordinador en X-CTU	61
Figura 27-3: Configuración para el transmisor xbee S1	62
Figura 28-3: Configuración del dispositivo final1	63
Figura 29-3: Prueba de comunicación Coordinador -Dispositivo final1	63
Figura 30-3: Configuración Dispositivo final2.....	64
Figura 31-3: Prueba de comunicación Coordinador -Dispositivo final2.....	64
Figura 32-3: Seleccionar puerto COM de los Xbee.....	65
Figura 33-3: Configuración de parámetros de los Dispositivos finales.....	66
Figura 34-3: Mensaje tipo Keepalive (formato y ejemplo)	67
Figura 35-3: Formato de mensajes tipo Link.....	68
Figura 36-3: Captura de pantalla programación de las Waspotes	69
Figura 37-3: Zona de Fresnel	71
Figura 38-3: Nodos finales colocados en el invernadero.....	72
Figura 39-3: Rangos de pertenencia de la Temperatura	74
Figura 40-3: Rangos de pertenencia de la Humedad	75
Figura 41-3: Rangos de comportamiento de las variables del sistema	77
Figura 42-3: Rango de funcionamiento de la salida	78
Figura 43-3: Reglas establecidas para el sistema.....	80
Figura 44-3: Comportamiento de las reglas difusas entrada/salida del sistema	80

Figura 45-3: Escalamiento Tridimensional de las variables del sistema	81
Figura 46-3: Comportamiento del sistema condiciones normales 2000 datos	82
Figura 47-3: Comportamiento del sistema con perturbaciones, 2000 mil datos	82
Figura 48-3: Modelo no lineal acoplada con tiempos muertos.....	83
Figura 49-3: Control H, T /tiempos muertos y desacoplamiento PID	83
Figura 50-3: Estructura general de un controlador difuso	85
Figura 51-3: Ejemplo de conjunto Difuso	86
Figura 52-3: Sistema difuso típico, sistema de control convencional (derecha).	87
Figura 53-3: Comportamiento de un controlador PID	87
Figura 54-3: Diagrama de Bloques Controlador Difuso del Proyecto.....	88
Figura 55-3: Representación en bloques de la estructura MISO	89
Figura 56-3: Salida del Controlador Difuso	90
Figura 1-4: a) Cultivo en campo abierto.....	99
Figura 2-4: a) Crecimiento del cultivo en el invernadero.....	99
Figura 3-4: a) Cultivo invernadero b) Zona de cultivo a cielo abierto	100
Figura 4-4: Etapa de Floración a) invernadero	100
Figura 5-4: Vaina a) Zona investigada b) Invernadero.....	100
Figura 6-4: Agricultor esparciendo funguicida.....	101

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Respuesta cultivo que más se siembra en el terreno	92
Gráfico 2-4: Respuesta a la infraestructura del terreno.....	92
Gráfico 3-4: Respuesta al sistema de riego	93
Gráfico 4-4: Respuesta al tipo de agua para riego que se utiliza	93
Gráfico 6-4: Respuesta al uso de semilla criolla.....	94
Gráfico 7-4: Respuesta utilización de sensores.....	94
Gráfico 8-4: Respuesta al control de plagas.....	95
Gráfico 9-4: Respuesta si existe asistencia técnica.....	95
Gráfico 10-4: Estudio de Suelo	95
Gráfico 11-4: Pérdidas en la producción.....	96
Gráfico 12-4: Causas de las pérdidas en la producción agrícola	96
Gráfico 13-4: Quintales por hectárea sembrada.....	97
Gráfico 14-4: Número de quintales cosechado por hectárea sembrada	97
Gráfico 15-4: Resultado de la encuesta sobre tecnología	97
Gráfico 16-4: Mejoramiento Técnico	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Componentes del fréjol por cada 100 gramos	8
Tabla 1-2	Especificaciones del módulo XBee PRO Series 1	20
Tabla 2-2	Especificaciones Tarjeta Waspote (dispositivo final).....	23
Tabla 3-2	Características eléctricas de la Waspote	23
Tabla 4-2	Lista de nombres de pines analógicos/pines digitales.....	26
Tabla 5-2	Características de la tarjeta Waspote Agriculture V3.0.....	29
Tabla 6-2	Datos eléctricos Waspote Agriculture v3.0	29
Tabla 7-2	Características eléctricas del sensor.....	31
Tabla 8-2	Especificaciones del sensor multiparámetro.....	31
Tabla 9-2	Notación del diagrama de bloques.....	35
Tabla 10-2	Épocas y Fechas de siembra por zona	43
Tabla 1-3	Nutrientes faltantes en el terreno	49
Tabla 2-3	Tabla característica para siembra de Fréjol voluble	49
Tabla 3-3	Presentación del direccionamiento de los nodos	56
Tabla1-4	Prueba de normalidad	102
Tabla 2-4	Número de datos para la muestra.....	103
Tabla 3-4	Tabla valores del sig lateral	104
Tabla 4-4	Medias estadísticas	105

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

Abreviaturas

dB.	Decibel Decibelio
GHz.	Gigahertz Gigahercio
KB.	Kilobyte
Kbps.	Kilobit por segundo
KW.	Kilowatts Kilovatio
MHz.	Mega Hertz Megahercio
mW.	MiliWatts MiliWatio
W.	Watts Vatio

Acrónimos

IEEE:	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
MAC:	Médium Access control Control de acceso al medio
WPAN:	Wireless local área network Red Inalámbrica de área personal
PHY:	Physical Layer

	Capa Física
OEM:	Original Equipment Manufacture Fabricantes de Equipos originales
OSI:	Open System Interconnection Interconexión de sistemas abiertos
Nwk:	Network layer Capa de red
Aps:	Application supports Soporte de aplicación
ZDO:	ZigBee device object Objeto dispositivo Zigbee
FFD:	Full fuction device Dispositivo de función completa
RFD:	Reduced function device Dispositivo de función reducida
PAN:	Personal área network Red de área personal
SAP:	Service Access point Servicio punto de acceso
PLME:	Entidad de Gestión de capa física
PPDU:	Unidad de datos de protocolo PHY
ED:	Detección de la energía
ICT:	Indicador de la calidad del enlace
CCA:	Clear Channel Assessment Evaluación Clara del canal
CSMA-CA:	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Prevención de Colisiones.
FCS:	Frame Check Sequence Chequeo de secuencia de tramas
CRC:	Cyclic redundancy check Chequeo de redundancia cíclica
ACK:	Acuse de recibo o asentimiento

RESUMEN

La presente investigación se basó en el desarrollo del diseño e implementación de una red de sensores utilizando el estándar 802.15.4 con la plataforma waspmote y el control mediante lógica difusa que permitió la optimización de la producción en un cultivo agrícola en el cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo. Según el reporte del Banco Central de Junio del 2016, indica que el volumen de la producción agrícola crecerá un 1% lo que permite concluir que el rendimiento por hectárea no sufre cambios; sin olvidar que el sector agropecuario es de vital importancia para la economía del País, y con la finalidad de lograr la optimización de la producción mediante la innovación tecnológica y la implementación del control mediante lógica difusa para las variables de la temperatura y humedad del suelo, se estableció reglas difusas sin modelo matemático alguno. El tipo de investigación fue experimental y el diseño transversal ya que dependió de dos conceptos; referentes a tecnología y técnicas de cultivos. Aplicando una serie de técnicas e instrumentos para la recolección de datos, como revisión de manuales técnicos, encuesta y lectura de sensores. Para el desarrollo de la aplicación se utilizó diversas tecnologías como son X-CTU software para la configuración de la comunicación del Gateway y los nodos finales, el IDE PRO Waspmote lenguaje de programación similar al C++ para la programación de la captura de los datos por medio de los sensores, el sistema computacional software LabView para el desarrollo del control difuso. De esta manera se concluye que la implantación del nuevo sistema mediante el control de lógica difusa generó eficiencia energética y reducción de costos haciendo un sistema más eficiente.

Palabras Clave: TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA, CONTROL AUTOMATICO, <REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS>, <ESTÁNDAR 802.15.4>, <WASPMOTE PRO –IDE>, <XCTU (SOFTWARE)>, <LABVIEW>, <CONTROLADOR DE LÓGICA DIFUSA>, <TÉCNICAS DE CULTIVO DE FRÉJOL>, <AGRICULTURA DE PRECISIÓN>

SUMMARY

This research was based on the development of the design and implementation of a sensor network using the 802.15.4 standard with the waspmote platform and the control through fuzzy logic allowing the production optimization in an agricultural crop in Riobamba city-Chimborazo Province. According to the report of the Central Bank in June 2016, it is indicated that the volume of agricultural production will grow by 1% which allows concluding that the yield per hectare remains unchanged; without forgetting that the agricultural sector is of crucial importance for the economy of the country. In order to achieve production optimization through technological innovation and the implementation of control by fuzzy logic for the variables of temperature and soil moisture, fuzzy rules were established without any mathematical model. The research was experimental and the cross-sectional design since it depended on two concepts, referring to technology and cultivation techniques. Applying a series of techniques and instruments for data collection, such as review of technical manuals, survey, and reading of sensors. For the development of the application, several technologies were used, such as X-CTU software for configuring the communication of the gateway and the final nodes, the IDE PRO Waspote programming language similar to C ++ for the programming of the capture data by means of the sensors, the LabView software system for the fuzzy control development . In this way, it is concluded that the implementation of the new system through the control of fuzzy logic generated energy efficiency and cost reduction making a more efficient system.

Key words: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES><AUTOMATIC CONTROL><WIRELESS SENSOR NETWORK><STANDARD 802.15.4><WASPMOTE PRO-IDE><XCTU SOFTWARE><LABVIEW><FUZZY LOGIC CONTROLLER><CROP BEANS TECHNIQUES><PRECISION FARMING>

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes del Problema.

Luego de haber realizado una investigación sobre temas similares al planteado se ha encontrado que Ríos, W.D.P,(2015), en la Universidad de Pereira llevó a cabo una investigación sobre Monitoreo de cultivos con redes de sensores XBEE, Arduino, y dispositivos de medición del suelo dedicado a la creación de una página web que permita monitorear constantemente las mediciones tomadas de un cultivo remoto, a través de graficas históricas del comportamiento de cada variable con respecto al tiempo en un intervalo definido por el usuario, además el sistema genera alertas por correo electrónico para dar aviso al usuario sobre variables fuera de rangos definidos por él. Esta aplicación creada por el investigador posee diferentes tipos de usuarios que poseen distintos niveles de acceso a la información y tendrán la posibilidad de agregar dispositivos, variables, definir intervalos de tiempo, obtener medidas de ciertos intervalos de tiempo, ver interfaces de administración, agregar o eliminar usuarios, recepción de alertas vía email, definir rangos de las variables, así permitirá la colaboración de los expertos técnicos con los agricultores en el monitoreo del proceso de cultivo.

Saveedra Cano C.A, 2015, implementó una Red de Sensores Inalámbricos con infraestructura dedicada al monitoreo, computación y comunicación de datos que le permiten a una entidad administrativa instrumentar, monitorear y reaccionar a eventos o fenómenos en un ambiente específicos, utilizando el protocolo ZigBee y el estándar IEEE 802.15.4, que permita proteger los bienes de los habitantes del Condominio Annabella, ubicado en el sector el Inca calles Samuel Fritz y Joaquín Sumaita de la ciudad de Quito, Ecuador; además comparten que el desarrollo y la factibilidad del trabajo permitió establecer seguridad a los habitantes del condominio tanto a los bienes como a sus miembros y gracias a la tecnología utilizada garantiza la detección de posibles amenazas presentadas en a lo largo de la historia de los condominios, confirmando nuevamente que la innovación mediante una red de sensores utilizando diferentes estándares en éste caso el 802.15.4 ha proporcionado las bases necesarias para trabajar en nuevos proyectos de innovación.

Duarte Galván, C (2015), en su propuesta de Tesis de Maestría, pretende cambiar el concepto de tablero central de control por entidades inalámbricas capaces de monitorear las variables de interés y, a través de etapas de potencia activar o desactivar los dispositivos mecatrónicos implementados en un invernadero. Debido a esta necesidad desarrolló diversos módulos de procesamiento, comunicación, instrumentación y control que son distribuidos a lo largo del

invernadero en puntos de interés mediante unidades remotas integradas por módulos de procesamiento basado en microcontroladores; que son capaces de medir variedad de sensores primarios y estimar variables como temperatura, humedad relativa, radiación y concentración de dióxido de carbono (CO₂). En estos módulos de procesamiento se envían esta información a un coordinador (FPGA) que es el responsable de administrar la red de sensores inalámbrica (WSN), adquirir y guardar los datos y tomar las debidas acciones de control. Permitiendo que éstas acciones de control sean transmitidas de manera remota a módulos destinados a controlar los actuadores del invernadero. Adicionalmente se dispone de una interfaz gráfica de usuario donde se muestran las lecturas de los diferentes sensores, llegando a obtener resultados favorables en el monitoreo y control de los invernaderos ya que el uso de entidades remotas simplifica la administración del mismo, y permite leer un determinado número de sensores y transmitir las lecturas cuando se le solicite dentro de los módulos además se realiza los procesamientos necesarios para obtener resultados más exactos de las variables de interés así como los arreglos necesarios a dichos datos para poder transmitirlos a través de la red inalámbrica.

Reyna Claudia, (2015), propone el diseño de un sistema automatizado para el monitoreo y control de humedad de un invernadero que construirá en el distrito de Abelardo Pardo Lezameta, ubicado en el departamento de Áncash, planteándose una estrategia de control que permita establecer un valor adecuado de humedad dentro del invernadero mediante un algoritmo de control on/off que ejecute una de las dos etapas de humidificación y deshumidificación, de acuerdo a la medición del sensor de humedad, se seleccionaron actuadores que permitan nebulizar y ventilar el invernadero para variar la humedad, para ello usó una electroválvula que permita el pase del agua hacia los nebulizadores, así mismo se usaron tres motores para la apertura y cierre de las ventanas del invernadero. Por otro lado, desarrolló una interfaz de usuario, la cual sirva para monitorear los cambios de la variable controlada en una computadora, así como también operar los actuadores remotamente.

De la investigación bibliográfica revisada no se ha podido encontrar un proyecto que sea similar al propuesto en este trabajo de investigación, por lo tanto se procede a realizar la implementación y estudio propuesto.

1.2 Situación Problemática.

El proyecto que a continuación se detalla se enfoca en aportar una idea de mejoramiento e innovación en el campo de la producción agrícola mediante la implementación de tecnologías actuales que permiten la optimización en la producción.

El sector agropecuario es de vital importancia para la economía del Ecuador, debido a su contribución en el Producto Interno Bruto (PIB), según las cifras del (Banco Central del Ecuador en el año 2014) fue el 9.4%, desempeñando un papel estratégico dentro del concepción global de seguridad alimentaria proporcionando alimentos para la población como se plantea en la Constitución de 2008.

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca 2016, en la publicación de La política agropecuaria ecuatoriana: hacia el desarrollo territorial rural sostenible: 2015-2025, pag,37, menciona que en el estudio reciente “Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas” , elaborado por estas tres instituciones, se advierte que dadas las limitaciones en recursos naturales, las presiones ambientales, el cambio climático y la mayor volatilidad de precios, el principal desafío que enfrenta el sector agrícola es aumentar la productividad en forma amigable con el ambiente.

La economía ecuatoriana es altamente vulnerable a los cambios en temperatura y precipitación y el retroceso de los glaciares Andinos. Esto se debe al perfil productivo del país que depende en un alto porcentaje del sector agro-exportador primario y las industrias manufactureras asociadas a dicho sector, así como la alta dependencia de los centros urbanos alto andinas del recurso hídrico de sistema de alta montaña y glaciares para el uso de agua potable de consumo humano. Es por esto que los impactos debido al cambio climático influenciarán la senda de desarrollo del Ecuador. (Nota Técnica IDB-TN-619, 2013)

Una problemática del sector agrícola es que no ha sido explotada en todo su potencial, debido a que se sigue utilizando formas de cultivo convencionales, retrasando el progreso de este sector. El problema radica que no se cuenta con mano de obra suficiente, ni monitoreo constante, los cambios climáticos han empujado a la implementación de invernaderos que no cuentan con la tecnología moderna por su alta inversión y no permite la optimización de los procesos, encareciendo el cultivo de un producto. Siendo que un alto porcentaje de población que se dedica a esta actividad posee bajos recursos económicos el problema se agrava ya que no cuentan con una inversión económica para tecnología y por ende mejora en sus cultivos. El gobierno deberá analizar la situación y aunar esfuerzos para mejorar la realidad del sector, incrementando la producción bajo cubierta con tecnología de punta en el país. Para con ello lograr que mejore la situación de este importante sector y por consiguiente se incremente la rentabilidad, beneficiando a productores y consumidores.

La idea de esta tecnología innovadora que se pretende realizar puede ser presentada para su futura inversión a la Cámara de la Agricultura de la primera zona que es una corporación con personería jurídica, sin fines de lucro que se rige por sus propios estatutos y reglamentos está

conformada por las cámaras provinciales de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar; por los Centros Agrícolas de la zona, las Asociaciones de Productores y por las Empresas Agropecuarias, de Agro exportación y Agroindustria, trabaja en el desarrollo del sector agrícola mediante capacitación, apoyo de políticas, desarrollo de proyectos, acceso a financiamiento entre otros.

Tema

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES MEDIANTE UNA WASPMOTE CON EL PROTOCOLO 802.15.4 PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS Y CONTROL MEDIANTE LÓGICA DIFUSA, QUE PERMITA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UN CULTIVO AGRÍCOLA EN EL CANTÓN RIOBAMBA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

Introducción

El presente trabajo de investigación se refiere a la implementación de una red de sensores utilizando el estándar 802.15.4 con la plataforma waspmote y el control mediante lógica difusa para la optimización de la producción en la provincia de Chimborazo, se enfoca en aportar una idea de mejoramiento e innovación en el campo de la producción agrícola mediante la implementación de tecnologías actuales que permiten la optimización en la producción, y el control de la temperatura y la humedad sin ningún modelo matemático establecido.

La característica principal para realizar este proyecto es que el sector agropecuario es de vital importancia para la economía del Ecuador, a nivel local según los indicadores presentados por el (Instituto Nacional de Estadística y Censo INEC, 2014). Este sector no ha sido explotado en todo su potencial debido a que se sigue utilizando técnicas convencionales retrasando su progreso. El cambio climático, la insuficiente mano de obra del sector agrícola debido a la migración de la población de las zonas rurales a las grandes ciudades, la implementación de invernaderos sin tecnología de punta por falta de recursos económicos a contribuido a la no optimización de los diferentes procesos en los invernaderos y en la agricultura en general.

Para el desarrollo del proyecto se considera el cultivo de fréjol ya que es uno de los productos que tiene 2603 hectáreas cultivadas más la distribución por variedades, según expuesto en el Sistema de riego comunitario, pagina web del (Ministerio de Agricultura Acuicultura y Pesca del Ecuador), hay que enfatizar que el proyecto es de carácter adaptativo tecnológico, afirmando que se podrá implementar en cualquier parte de la zona 3.

Además, luego de revisar el porcentaje de los indicadores de rendimiento de granos secos, se puede observar que están en el orden de 0.20 y 0.50 Tm/ha, cantidades que son consideradas deficientes, problemática derivada de la escasa disponibilidad de variedades mejoradas, el uso de semillas de mala calidad, incidencia de plagas, cambio climático, falta de planificación y de control técnico desde la siembra y durante el crecimiento de los cultivos, además de un deficiente análisis evolutivo del cultivo que no permite contar con una realimentación que ayude a tomar acciones preventivas y correctivas que contribuyan a optimizar y mejorar el rendimiento de los cultivos, factores que ocasionan perjuicios en la producción, provocando pérdidas económicas y la migración del agricultor a las grandes ciudades en busca de trabajo.

La investigación y la elaboración del proyecto es importante puesto que la optimización del proceso de crecimiento mediante la combinación de sensores con estándar 802.15.4, entre ellos; de humedad del suelo, del ambiente y de temperatura, se podrá detectar bajas o altas temperatura que perjudican al crecimiento adecuado de la plantación, se actuará de forma correctiva si se provee falta de riego, y el monitoreo constante del cultivo garantizará la prevención de posibles enfermedades de las plantas, mejorando la optimización de los cronogramas de riego, para el desarrollo adecuado de los frutos, los aportes de trascendencia son datos que se obtendrán de la contrastación del método de control mediante lógica difusa y los métodos de control convencionales además del uso de manuales técnicos utilizados para los cultivos agrícolas, el sistema aportará con sus respuestas con respecto al cultivo de fréjol, contribuyendo a la optimización de sembrados agrícolas.

Este proyecto contribuirá al cumplimiento de los objetivos propuestos en el Plan de Desarrollo Nacional 2017-2021, “Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural”, “Acuerdo Nacional por el Empleo, la Inversión Productiva, la Innovación y la Inclusión, Minga Agropecuaria” mediante el desarrollo de proyectos innovadores que contribuyan para el bien social, además se pretende cumplir los Planes estratégicos de desarrollo territorial (PDOTs) en este caso de la zona 3 a la que pertenece la provincia de Chimborazo), ya que éstos están orientados a mejorar y cumplir con el objetivo propuesto de incrementar la productividad agrícola y pecuaria, permitiéndome como desarrolladora del proyecto incrementar mi interés profesional sobre nuevas tecnologías que se pueden aplicar en el País y mejorar este tipo de sistemas.

En la segunda parte del trabajo se pretende facilitar una base teórica con respecto al estándar 802.15.4, adicional la información referente a las redes inalámbricas, topologías, protocolos, control de lógica difusa, técnicas de cultivo información obtenida de folletos técnicos elaborados por el MAGAP. Luego de ellos se realizará el desarrollo de la metodología utilizada, un detalle de la construcción del invernadero donde se realizó las pruebas experimentales, la

instalación, configuración e implementación de la red de sensores, cálculo de la distancia mínima para que se realice la transmisión de los datos obtenidos por los sensores hacia el Gateway, el desarrollo del control de lógica difusa, reglas y variables propuestas en el trabajo.

Por último se realizará un análisis de resultados contrastando las técnicas de cultivo utilizadas por la población de la cual se realiza un estudio técnico, con los resultados obtenidos en el proyecto propuesto con la tecnología implementada para luego realizar conclusiones y recomendaciones.

Formulación del problema.

¿El diseño y la implementación de una red de sensores mediante Wasmote con el protocolo 802.15.4 para el procesamiento de datos y el control mediante lógica difusa, permite la optimización de la producción en un cultivo agrícola en el cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo?

Justificación De La Investigación.

Este proyecto de investigación contribuirá al cumplimiento de los objetivos propuestos en el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, “Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural”, “Acuerdo Nacional por el Empleo, la Inversión Productiva, la Innovación y la Inclusión, Minga Agropecuaria”, con proyectos innovadores que contribuyan para el bien social, además se pretende cumplir los Planes estratégicos de desarrollo territorial (PDOTs) en este caso de la zona 3 a la que pertenece la provincia de Chimborazo), ya que éstos están orientados a mejorar y cumplir con el objetivo propuesto de incrementar la productividad agrícola y pecuaria.

El invernadero se implementó en el cantón Riobamba en el sector de la Quinta el Batán que se encuentra ubicada al sur occidente de la provincia de Chimborazo, referencia de ubicación Ricpamba y Río Chibunga, situada a una altitud de 2764 msnm, la agricultura y la ganadería están entre las principales ocupaciones de la población de la provincia de Chimborazo, donde la agricultura está representada por la producción de fréjol, arveja, maíz, mora, tomate, babaco, limón, naranja, papa los productos mayormente cultivados.

Una vez que se considera a este cantón, se pretende aportar una idea de mejora para sus labores productivas, por medio del diseño e implementación de una red de sensores utilizando Wasmote con el protocolo 802.15.4, el cual permitirá elevar el rendimiento de los procesos de producción y así evitar las pérdidas económicas por la falta de control y la tecnología de punta en los cultivos agrícolas, éste proyecto permitirá beneficiar a los agricultores de la zona y

también a la población en general ya que se obtendrá productos con mayor calidad además se solucionará la problemática de migración de mano de obra por pérdidas en las producciones agrícolas, como expresan las cifras del Banco Central, 2016.

La investigación es importante puesto que la optimización del proceso de crecimiento mediante la combinación de sensores, entre ellos; de humedad del suelo y del ambiente, de temperatura, se podrá detectar las bajas temperatura que perjudican al crecimiento adecuado de la plantación, se actuará de forma correctiva si se provee falta de riego, y el monitoreo constante del cultivo garantizará la prevención de posibles enfermedades de las plantas, mejorando la optimización de los cronogramas de riego de abono y anti plagas necesarios para el desarrollo adecuado de los productos, los aportes de trascendencia son datos que se obtendrán de la contrastación del método de control mediante lógica difusa y los métodos de control convencionales además de manuales técnicos utilizados para los procesos de cultivos agrícolas, el sistema aportará con sus respuestas con respecto al cultivo de fréjol ya que se ha escogido ésta legumbre para realizar el proyecto por todas las características que se mencionan a continuación.

El cultivo de fréjol constituye el 0,84 % del total de superficie arable en el Ecuador, según el Tercer Censo Nacional Agropecuario, de las que se logran rendimientos en promedio del orden de las 0,20 tm/ha, se cosechan 89.789 de las 105.127, hectáreas sembradas de esta leguminosa, en grano seco, cuyo consumo se efectúa tanto en fresco (grano seco y verde), como para la industria de enlatados, además el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés, 2011) menciona que su alto contenido de hierro, elemento vital para el buen desarrollo cerebral en los niños, ayuda a corregir desórdenes biliares, gota, enfermedades reumáticas, disminuye la tasa de colesterol y es eficaz contra la anemia. Por cada 100 gramos, hay 20 de proteínas, 5.8 de grasa y más de 3 de fibra como se observa en la Tabla 1-1. El fréjol es una leguminosa que constituye una rica fuente de proteínas e hidratos de carbono, además es abundante en vitaminas del complejo B, como niacina, riboflavina, ácido fólico y tiamina; también proporciona hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio, y presenta un alto contenido de fibra.

De acuerdo al MAGAP (2012), la importancia alimenticia radica en que es una fuente que aporta grandes cantidades de proteína y fibra alimenticia, como se detalla en el cuadro adjunto. Investigaciones recientes han demostrado que la baja incidencia de cáncer de colon, observada en el Ecuador y América Latina, en comparación con países desarrollados, es consecuencia del mayor consumo de fréjol.

Tabla 1-1: Componentes del fréjol por cada 100 gramos

COMPONENTE	FREJOL
Calorías	312
Proteínas	0.50g
Carbohidratos	86.00g
Grasas	0.1g
Agua	12.3g
Ceniza	1.1g
Calcio	80.00mg
Fosforo	60.00mg
Hierro	2.40mg
Vit B1	0.02mg
Vit B 12	0.07mg
Vit C	3.00mg

Fuente: Banco Central 2016.

Objetivo de la Investigación.

1.5.1 Objetivo General.

Diseñar e Implementar una red de sensores mediante una Waspnote con el protocolo 802.15.4 para el procesamiento de datos y control mediante lógica difusa, que permita la optimización de la producción en un cultivo agrícola del cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Recopilar información para la elaboración del marco teórico seleccionando los conceptos y técnicas más adecuadas que se puedan aplicar en el proyecto propuesto.
- Diseñar e implementar la red de sensores mediante una Waspnote con el protocolo 802.15.4.
- Determinar los alcances y limitaciones de la red de sensores implementada
- Desarrollar un control mediante lógica difusa utilizando el método de Takagi-Sugeno, para adecuarse a cualquier ambiente y permita optimizar la producción de un cultivo agrícola en el cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo.
- Contrastar la utilización del control de lógica difusa, con métodos de control convencionales.

1.6 Hipótesis General.

El implementar la red de sensores mediante una Wasmote con el protocolo 802.15.4 para el procesamiento de datos y control mediante lógica difusa, permitirá la optimización de la producción en un cultivo agrícola del Cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases Teóricas.

Las bases teóricas se sustentan en tres áreas muy importantes las cuales apoyaran el desarrollo del proyecto.

2.1.1 Redes De Sensores.

Una red de sensores es una infraestructura compuesta por elementos de comunicación que le proporcionan al administrador la habilidad de observar y reaccionar ante eventos y fenómenos en un entorno físico, mediante la detección, medición e información recogida de los sensores. Los administradores generalmente son entidades civiles, gubernamentales, comerciales o industriales. (Sohraby K., Minoli D., Znati T., 2007)

Los sistemas de sensores de redes son vistos por los investigadores como una tecnología importante que experimentará un despliegue en los próximos años para realizar un sinnúmero de aplicaciones, siendo la seguridad nacional una de las principales. (Sohraby K., et al., 2007)

Las aplicaciones típicas de la red de sensores incluyen recopilación de datos, monitoreo, vigilancia, telemetría médica, entre otras. También pueden ser usados en control y activación de actuadores. (Sohraby K., et al., 2007)

(Sohraby Kazem, et al., 2007), afirman que hay cuatro componentes básicos en una red de sensores:

1. Un conjunto de o sensores localizados
2. Una red de interconexión (generalmente, pero no siempre, basado en inalámbrico)
3. Un punto central de agrupamiento de información
4. Un conjunto de recursos de computación en el punto central, para manejar la correlación de datos, eventos, tendencias, consultas de estado y extracción de datos.

2.1.2 Red De Sensores Inalámbricos (*Wireless Sensor Network, Wsn*).

Las Redes de Sensores Inalámbricos son colecciones de nodos computacionales compactos y de bajo costo, que miden condiciones ambientales en un entorno específico y transmiten esa información a un punto central para su adecuado procesamiento. (Sohraby K., 2007).

Los nodos de una WSN pueden censar el entorno y comunicarse con sus nodos vecinos. Las WSNs pueden ser utilizadas en un gran espectro de aplicaciones, desde el monitoreo ambiental, la seguridad de perímetros y el control de inventarios, hasta el censo de vehículos automotores. (Sohraby K., 2007).

Las principales características de estas redes son (Sohraby K., 2007).

1. La habilidad de tratar con las posibles fallas en los nodos que conforman la red.
2. Movilidad.
3. Heterogeneidad de los nodos.
4. Escalabilidad.
5. Autodiagnóstico.

2.1.3 Tipos De Redes Inalámbricas.

Las redes inalámbricas dependen del alcance y tipo de onda electromagnética utilizada. En la Figura 1-2 se puede observar la clasificación de las redes inalámbricas, con los estándares que utilizan.

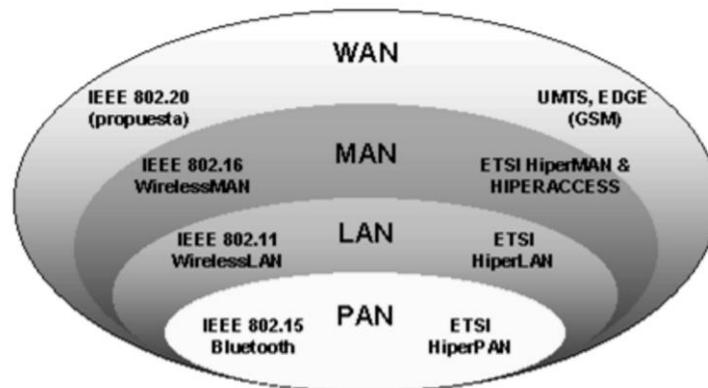


Figura 1-2: Clasificación de las redes inalámbricas
Fuente: Millones Víctor, 2012, Piura;

2.1.4 Tecnologías Para Enlaces Inalámbricos.

Mercado, G., Gitto, J., Soria, R., Taffernaberry, J. C., Pérez Monte, C., Orbiscay, M., Diedrichs, A. (2015) afirman que entre las tecnologías disponibles para la transmisión de la información los enlaces inalámbricos se encuentran las siguientes:

Radio Frecuencia (RF): Se denomina así a todo canal de transmisión inalámbrico. En este grupo entrarían todos los enlaces cuya tecnología del mismo fue desarrollada por el fabricante y no se encuentra bajo ningún estándar y se recomienda no utilizar comunicaciones RF no estandarizadas. (Mercado G, et al., 2015)

ZigBee: se encuentra especificada por la reunión de varios protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrico, es utilizada para la radiodifusión digital de bajo consumo basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas. Sus objetivos son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías, crear topologías de red (jerárquicas) para permitir que un gran número de nodos se comuniquen entre ellos, permitiendo establecer características de comunicación como autenticación, encriptación, asociación. Hay que destacar que en el entorno donde se aplique más esta tecnología es en la domótica, pues presenta algunas características que lo distinguen de otras tecnologías como bajo consumo, topología de red y fácil integración ya que se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica, creado por la Alianza ZigBee. (GASCÓN, 2009).

Zigbee funciona a frecuencias de 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz, la tasa de datos máxima es de 250 Kbps, se puede realizar principalmente aplicaciones que funcionan con baterías debido a su bajo consumo en la baja tasa de datos y ahorro en el consumo de la batería ya que pasa el dispositivo la mayor parte de tiempo en modo sueño (ahorro de energía), como resultado los dispositivos ZigBee-enabled pueden estar operativos varios años sin que sus baterías sean reemplazadas. (Farahani, 2008)

Bluetooth (BT): Es una especificación industrial para redes inalámbricas económicas de área personal WPANs (Wireless Personal Area Network) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz. (Mercado G, et al., 2015)

Wireless Fidelity (Wifi): En español significa literalmente fidelidad sin cables. Se trata de una tecnología de transmisión inalámbrica por medio de ondas de radio con muy buena calidad de emisión para distancias cortas (hasta 100 m). Es una marca de la Wi-Fi Alliance, que es la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares 802.11 relacionados a redes inalámbricas de área local. (Mercado G, et al., 2015)

Estándar IEEE 802.14.5. Este estándar se puso en vigencia en el 2006 y fue aprobado y desarrollado por la IEEE 802 con el título de Wireless Medium Access Control (MAC) y Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (WPAN), en el 2009 se creó un estándar IEEE 802.15.5 como complemento del 802.15.4; en el 2011 fue actualizado y lanzado con el nombre de Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) y en su última versión en el 2015 tomó el nombre de IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks. (IEEE Computer Society, 2006).

El protocolo 802.15.4 (2006), fue definido para la interconexión de dispositivos para redes inalámbricas de área personal (WPAN), sus características principales son una baja velocidad de transmisión de datos, un bajo consumo de energía y una baja inversión en costos de red, utilizada para transmitir información a distancias cortas a diferencia de la red inalámbrica (WLAN), posee una gama alta de dispositivos para realizar su implementación siendo esa otra ventaja. (IEEE Computer Society, 2006).

2.1.5 Protocolo de Comunicación de la Red Inalámbrica Zigbee.

2.1.5.1 Relación entre Zigbee y el IEEE 802.15.4.

Para establecer una comunicación (inalámbrica o cableada) se utiliza lo que se conoce como capas de redes de datos. Teniendo conocimiento que cada capa es responsable de las funciones de la red y de la comunicación en sí. Las capas por su estructura transportan tramas, datos, paquetes y comandos en su orden es decir encima o debajo de cada una de ellas. (Farahani, 2008).

El protocolo ZigBee basa su funcionamiento en el modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI), el cual le divide a la comunicación de la red en capas otorgándole cierta ventaja, si a futuro hubiera una modificación en la capa solo se sustituye la capa afectada y no el protocolo con el cual funciona.

Para el desarrollo de una aplicación, las capas inferiores son independientes de la capa de aplicación, por lo que se tendría que realizar cambios en la capa de aplicación del protocolo. Existe un software de aplicación conocido con el nombre de software de pila de protocolos. (Farahani, 2008)

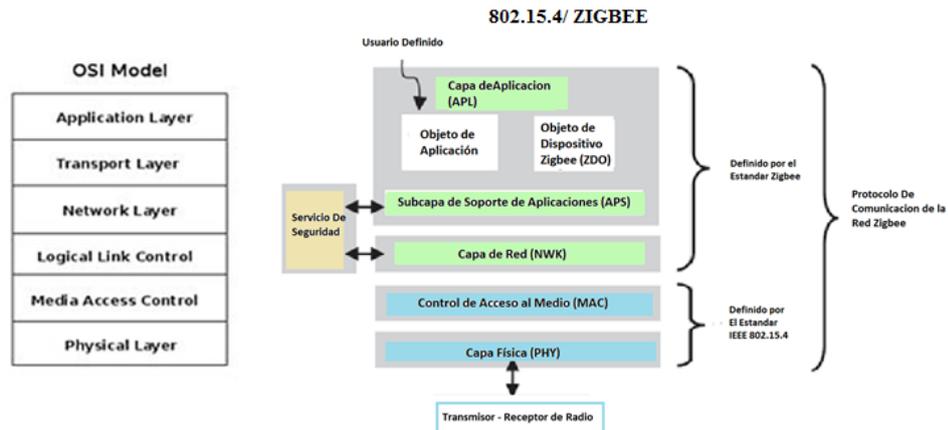


Figura 2-2: Modelo OSI y (802.15.4/ZigBee)
Fuente: Gascón, 2009; (Farahani, 2008)

En la Figura 2-2 se verifica que se hace referencia al modelo OSI pero las capas del modelo 802.15.4 se acoplan a éste modelo, como es la capa física (PHY), la capa de enlace (MAC), capa de red (NWK) y las capas APS, ZDO capas específicas de la red ZigBee. (GISLASON, 2000)

2.2 Topología.

La capa de red de ZigBee permite trabajar con topologías estrella, punto a punto, árbol y malla. (STD. IEEE 802.15.4, 2006)

2.2.1 Topología Estrella.

Esta topología permite establecer comunicación entre dos dispositivos y un coordinador central denominado coordinador de una red de área personal (PAN). Este dispositivo que actúa como coordinador PAN puede tener una aplicación asociada, permitiendo iniciar o terminar la comunicación por la red. Estos dispositivos deben poseer direcciones únicas de 64 bits, que pueden ser usadas para la comunicación directa dentro de la red, o direcciones cortas que pueden ser asignadas por el coordinador para poder asociar los dispositivos en la PAN. El coordinador puede ser alimentado por la corriente eléctrica, mientras que los otros dispositivos pueden trabajar con baterías. Con este tipo de topología se pueden observar ejemplos aplicados en automatización de hogares, computadoras personales, juguetes, juegos, cuidados a los enfermos en el área de la salud. (STD. IEEE 802.15.4, 2006)

Las redes estrella, Figura 3-2; pueden trabajar de forma independiente, esto se logra mediante la elección de un identificador PAN que no es utilizado en otra red en la esfera de radio de influencia. El PAN coordinador permite que otros dispositivos, de funciones completas (FFD) y

dispositivos de funciones reducidas (RFD) se enganchen a su red una vez que obtiene el identificador PAN. (STD. IEEE 802.15.4, 2006)

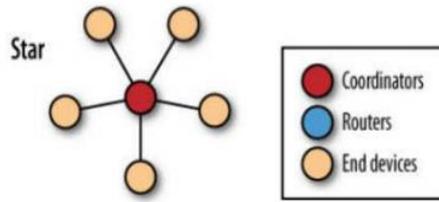


Figura 3-2: Topología estrella
Fuente: (Zaradnik, 2014)

2.2.2 Topología de punto a punto.

Esta topología posee un coordinador PAN como se observa en la Figura 4-2, se diferencia de la topología estrella ya que en esta existen más dispositivos que se pueden comunicar siempre y cuando estén dentro del alcance. Mediante ésta topología permite formaciones de red más complejas como son la red malla. Como ejemplos de implementación de éstas tecnologías están el control industrial y vigilancia, redes de sensores inalámbricas, agricultura inteligente, seguimiento de inventarios. Este tipo de redes permite encaminar mensajes desde cualquier dispositivo de la red. Esta función puede añadirse en la capa superior, aunque no sean parte de la norma. (STD. IEEE 802.15.4, 2006).

Como en la topología anterior cada PAN selecciona un identificador único, el cual permite la comunicación entre dispositivos en la red, utilizan direcciones cortas. (STD. IEEE 802.15.4, 2006)

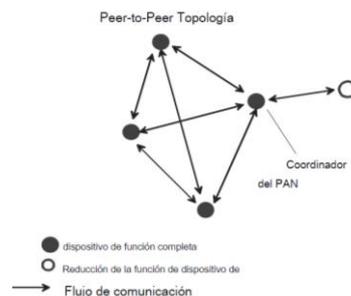


Figura 4-2: Topología punto a punto (peer to peer)
Fuente: (STD. IEEE 802.15.4,2006)

2.2.3 Topología jerárquica (árbol).

A la topología árbol Figura 5-2 se la conoce como red jerárquica y posee un coordinador que actúa como la raíz principal del árbol (padre), acepta la asociación de otros dispositivos a la red conocidos como dispositivos infantiles. Los mensajes destinados a los dispositivos infantiles pueden ser enrutados por el padre, los dispositivos infantiles carecen la capacidad de enrutar. (Farahani, 2008)

La red ZigBee permite realizar asignaciones predeterminadas de direcciones distribuidas, cuando el coordinador empieza establecer la red si el atributo de la capa de red está configurada para VERDADERO. El ZigBee coordinador proporciona a cada padre un subbloque de direcciones de red, las cuales serán asignadas a sus hijos. El ZigBee coordinador determina la cantidad máxima de niños permitidos para cada padre. Si el atributo en la capa *de red* está establecido en FALSO, la capa de aplicación proporcionará un usuario definido dirigiéndose a la capa de red. (Farahani, 2008)

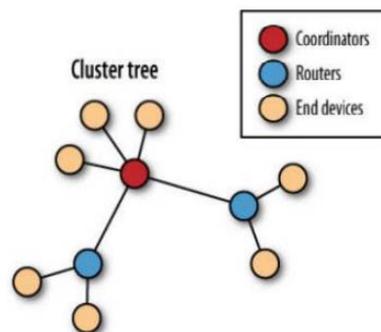


Figura 5-2: Topología árbol (jerárquica)
Fuente: (Zaradnik, 2014)

2.2.4 Topología de malla.

En la topología malla no existe jerarquía a diferencia de la topología árbol, en ésta topología cualquier dispositivo puede intentar contactarse con otro dispositivo ya sea de forma directa o con ayuda de los enrutadores para retransmitir el mensaje en nombre del originador del mensaje. En la topología malla Figura 6-2 la ruta desde el origen del mensaje al destino puede ser modificada si el entorno cambia. Si por algún motivo no se pueda establecer comunicación desde el origen al destino los dispositivos con capacidad de enrutamiento en la red pueden cooperar encontrando rutas alternativas desde el dispositivo fuente al destino. (Farahani, 2008)

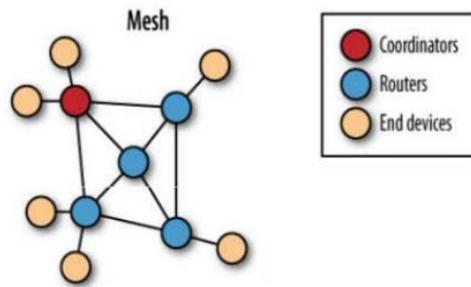


Figura 6-2: Topología malla (mesh)
Fuente: (Zaradnik, 2014)

2.3 Tipos de dispositivos de la red ZigBee.

La red ZigBee posee tres tipos de dispositivos definidos según el papel que desempeñan dentro de la red.

Zigbee Coordinator (ZC) ó Full Function Device (**FFD**) es el único dispositivo ZigBee que puede formar una red.

Zigbee Router (ZR), dentro de las funciones están el enrutar paquetes de datos, para encontrar y unirse a la red "correcta", realiza constantes transmisiones a través de la red, participa en el enrutamiento, descubrimiento y mantenimiento de rutas, permitiendo que otros dispositivos se unan a la red, y realizando el almacenamiento de paquetes.(GISLASON, 2000)

Zigbee End-Device (ZED) ó Reduced Function Device (RFD) son dispositivos de baja potencia, capaces de funcionar durante años con una de batería de litio; permiten encontrar y unirse a la red "correcta"; envían mensajes al ZC para ver si le enviaron mensaje mientras estaban dormidos; otra de las funciones es encontrar un ZC nuevo si se pierde el enlace al ZC anterior; y lo más importante es conservar la energía de las baterías cuando el solicitud llegue.

En conclusión según el estándar IEEE 802.15.4 (2006), necesita de mínimo dos dispositivos donde al menos uno de ellos sea un FFD para que opere como coordinador PAN. En donde éste dispositivo FFD puede comunicarse con un RFD o con otros FFDs, mientras que un RFD solo puede comunicarse con un solo FFD a la vez como se observa en la Figura 7-2.

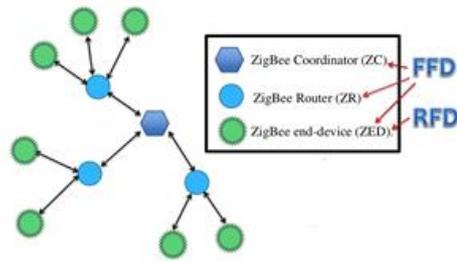


Figura 7-2: Identificación de los dispositivos en la red
Fuente: (Masadeh, 2015)

2.4 Dispositivos que se utilizan en la red 802.15.4/ZigBee.

En esta parte del documento se realizará la descripción de los dispositivos que se utilizaron para el desarrollo del proyecto.

2.4.1 Dispositivos seleccionados para la Red con estándar 802.15.4.

- 1 Wasmote Gateway (XBee-PRO serie 1) 5 dBi
- 2 Wasmote Agriculture V3.0
- 1 PC

2.4.2 Accesorios utilizados para la Red con estándar 802.15.4.

- 2 Sensores de temperatura y humedad.
- 3 Antenas de radio frecuencia de 2.4 GHz
- 2 Baterías de (Li-Ion) Recargables de 6600 mA
- 3 Cables USB 3.0
- 2 Memorias SD (8GB)
- 1 Vitela(Retira baterías)

2.5 Descripción de los Dispositivos.

2.5.1 Dispositivo coordinador XBee-PRO S1.

Este dispositivo figura 8-2, toma los datos transportados mediante el protocolo de comunicación ZigBee, es decir recoge los datos que fluyen a través de la red de sensores en una computadora con un puerto USB estándar. El Wasmote será utilizado como un puente de datos o punto de acceso entre la red de sensores y el equipo de recepción

Donde el equipo de recepción es decir la Pc será la responsable de almacenar y utilizar los datos recibidos. (LIBELIUM, 2017)

El equipo receptor es una PC con sistema operativo Linux, Windows o Mac OS, o cualquier dispositivo compatible con conectividad USB estándar. El dispositivo que funciona como puerta de enlace posee un conector macho y el dispositivo que hace de receptor posee un conector hembra, una vez instalado correctamente la puerta de enlace, un puerto de comunicación serie conecta directamente a UART del Xbee donde aparece el equipo de recepción lo que le permite al Xbee comunicarse directamente al dispositivo, recibiendo paquetes de datos desde la red de sensores, y permitiendo modificar y / o consultar parámetro para configurar la Xbee. (LIBELIUM, 2017)

El estándar ZigBee se apoya en la capa de enlace IEEE 802.15.5, pero el modelo de ZigBee XBee-PRO limita el número de canales a 13. La ZigBee XBee-PRO módulos cumplen con la V2007 ZigBee-PRO estándar. Estos módulos añaden ciertas funcionalidades a los aportados por ZigBee. (LIBELIUM, 2017)



Figura 8-2: Coordinador /Gateway.
Fuente: (DIGI INTERNATIONAL, 2017)

El Xbee-PRO s1 (Coordinador/Gateway) posee los siguientes componentes:

- XBee-PRO versión 1
- Wasp mote Gateway USB
- Antena (2.4 GHz)

2.5.2 Módulo XBee-PRO serie 1.

XBee Series 1 está basado en el estándar ZigBee / 802.15.4. Cuenta con firmware ZigBee para crear redes de tipo estrella, malla, árbol y configuraciones, punto a punto, multipunto, etc. La ventaja de la serie XBee S1 es que no necesita configuraciones previas ya que puede conectarse

automáticamente. Los módulos de la Serie XBee 1 y los módulos de la Serie 2 no se comunican entre sí, el espacio de separación de los pines del Xbee son de 2mm, no permitiendo ser ubicados en una Protoboard, el voltaje de alimentación y operación es de 3.3V, pero si existen adaptadores en la actualidad que dan solución a éste problema. (DIGI INTERNACIONAL, 2007)

Permiten ser operados en frecuencias de bandas abiertas internacionales 2.4 GHz, operan dentro del protocolo ZigBee para redes de bajo costo y bajo consumo de potencia. (DIGI INTERNACIONAL, 2007), se puede observar la imagen del dispositivo en la Figura 9-2.



Figura 9-2: XBee PRO serie 1 y antena de 2Ghz
Fuente: (DIGI INTERNACIONAL, 2017)

En la Tabla 1-2 se puede observar las especificaciones técnicas del dispositivo Xbee PRO s1:

Tabla 1-2: Especificaciones del módulo XBee PRO Series 1

Especificaciones del módulo XBee PRO Series 1	
Rango interior / urbano	Hasta 300 pies (90 m) Variante internacional Hasta 200 pies (60 m)
Rango de visibilidad directa en línea RF	Hasta 1 milla (1600 m) variante internacional Hasta 2500 pies (750 m)
Salida de potencia de transmisión (software seleccionable)	63 mW (18 dBm) * 10 mW (10 dBm) para variante internacional
Velocidad de datos de RF	250,000 b / s
Velocidad de datos de la interfaz serial (Seleccionable por software)	1200 bps - 250 kb / s (velocidades de baudios no estándar también soportado)
Sensibilidad del receptor (típico)	100 dBm (Tasa de error de paquete de 1%)
Requerimientos de energía	
Tensión de alimentación	2.8 – 3.4 V
Corriente de transmisión (típico)	250 mA (@ 3.3 V) (150 mA para la variante internacional) solamente módulo RPSMA 340 mA (@ 3.3 V) (180 mA para la variante internacional)
Inactivo / recibir corriente (típico)	55 mA (a 3.3 V)
Corriente de apagado	<10 Ua
Especificaciones Generales	
Banda de Frecuencia a la que opera	2.4 GHz
Dimensiones	0.960 in x 1.297 in (2.438 cm x 3.294 cm)

Temperatura de operación	-40 a 85°C (industrial)
Opciones de Antena	Antena de látigo integrada, integrada Antena PCB, conector U.FL, conector RPSMA
Especificaciones de Redes y Seguridad	
Topologías de red admitidas	punto a punto, punto a multipunto y de igual a igual
Número de canales (software seleccionable)	12 canales de secuencia directa
Opciones de direccionamiento	PAN ID, canal y direcciones

Fuente: (DIGI INTERNATIONAL, 2017)

En la Figura 10-2 se observa la vista superior del Xbee PRO s1 con sus respectivas dimensiones.

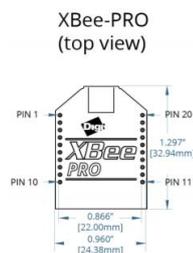


Figura 10-2: Dimensiones del módulo XBee
Fuente: (DIGI INTERNATIONAL, 2017)

2.5.3 Wasmote Gateway USB.

Dispositivo que permite recopilar datos que se transmiten a través de una red de sensores Wasmote a una PC u otro dispositivo con un puerto USB estándar. EL Gateway Figura 11-2 actuará como un puente de acceso entre la red del sensor y el equipo receptor. El equipo receptor será responsable de almacenar y utilizar los datos recibidos según las necesidades específicas de la aplicación. El equipo receptor puede ser una PC con sistema operativo Linux, Windows o Mac OS, o cualquier dispositivo compatible con conectividad USB estándar. (LIBELIUM, 2017)

Cuando se instala la puerta de enlace correctamente, se visualiza un puerto nuevo de comunicaciones tipo serie que se conecta con el UART del Xbee en el equipo receptor. Permitiendo que de esta manera se pueda recibir paquetes, modificar, consultar parámetros del Xbee. El Wasmote Gateway trabaja con el módulo. XBee y la antena como se muestra en la figura a continuación. El módulo XBee PRO S1 - RF 2.4GHz con conector RP-SMA y una antena de 5dBi. (LIBELIUM, 2017)



Figura 11-2: Wasmote Gateway USB
Fuente: (DIGI INTERNATIONAL, 2017)

2.5.3.1 Funciones de Wasp mote – Gateway.

LED

Cuatro indicadores LED se incluyen en la puerta de enlace, se observa en la Figura 12-2:

- Alimentación USB LED: indica que la placa se alimenta a través del puerto USB
- RX LED: indica que la tarjeta está recibiendo datos desde el puerto USB
- TX LED: Indica que la tarjeta está enviando datos al puerto USB
- I / O 5 LED configurable: asociado

El LED configurable conectado a I / O 5 pin del XBee se puede configurar ya sea como la salida digital del XBee o como indicador de la asociación a la red de sensores de la XBee.

Botones

- Reset: permite que el módulo XBee se restablezca
- E / S - 0: pulsador conectado a pin E / S del XBee 0
- I / O -1: botón conectado al pin I / O de la XBee 1
- RTS - E / S - 6: pulsador conectado al pin de E / S del XBee 6

Los botones de conexión de cada línea correspondientes con serán correspondientes a GND cuando se presionen. Ninguno de ellos tiene la resistencia de pull-up por lo que si se requiere necesario activar cualquiera de las resistencias pull-up internas de la XBee dependiendo del requerimiento de la aplicación

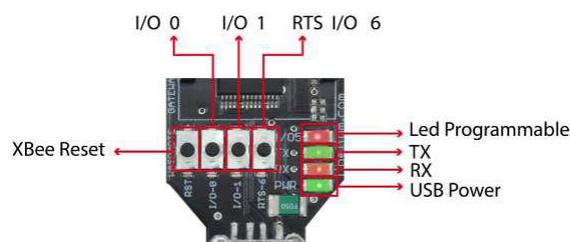


Figura 12-2: Funciones de Wasp mote/Gateway
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.6 Tarjeta Waspote Dispositivo Final.

En la Tabla 2-2 se observa las especificaciones de la tarjeta Waspote Xbee que trabajará como dispositivo final.

Tabla 2-2: Especificaciones Tarjeta Waspote

Microcontrolador:	atmega1281
Frecuencia:	2.4 GHz
SRAM:	8 Kb
EEPROM:	4 kB
DESTELLO:	128 kB
Tarjeta SD:	8 GB
Peso:	20 g
Dimensiones	73,5 x 51 x 13 mm
Rango de temperatura:	- 10 °C, 65 °C

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

En la Tabla 3-2 se observa los datos de las características eléctricas que corresponden al trabajo de la tarjeta utilizada.

Tabla 3-2: Características eléctricas de la Waspote
Datos eléctricos Tarjeta Waspote(Dispositivo Final)

Valores operativos:	
Voltaje de la batería operacional mínimo	3,3 V
Voltaje de la batería operativa máxima	4,2 V
Tensión de carga USB	5 V
Tensión de carga del panel solar	6 - 12 V
Corriente de carga de la batería desde USB	480 mA (max)
Corriente de carga de la batería desde panel solar	330 mA (max)
Valores máximos absolutos:	
Tensión en cualquier pin	-0.5 V + 3.8 V
corriente máxima de cualquier pin E / S digital	40 mA
tensión de alimentación USB	7 V
Tensión de alimentación del panel solar	18 V
Voltaje de la batería cargada	4.2 V

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

En la Figura 13-2 se muestra la estructura de la parte delantera de la Tarjeta Waspote (Dispositivo Final).

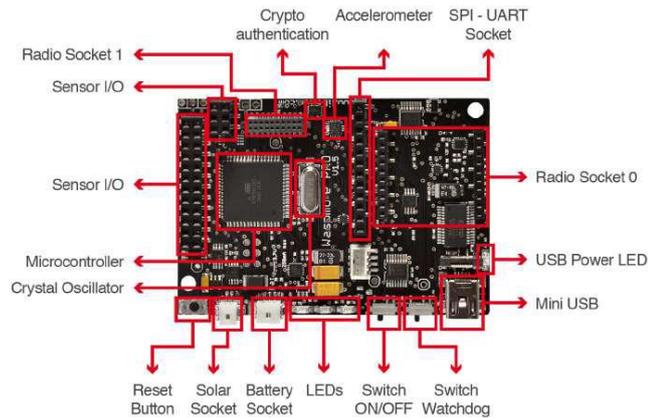


Figura 13-2: Estructura de la Tarjeta Wasmote (Frontal)
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.6.1 Estructura de la Parte Posterior de la Tarjeta Wasmote (Dispositivo Final).

En la Figura 14-2 se visualiza la estructura de la parte posterior de la tarjeta Wasmote.

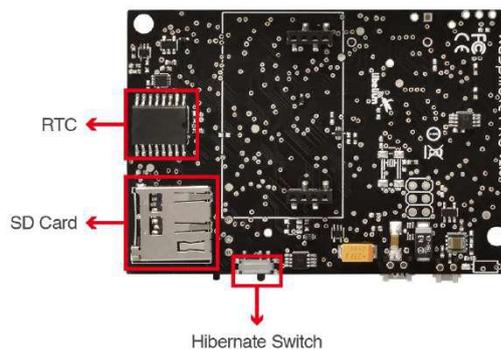


Figura 14-2: Estructura de la parte posterior de la Wasmote
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.7 Ubicación de los puertos de comunicación de la Wasmote I / O.

Wasmote puede comunicarse con otros dispositivos externos a través de las diferentes entradas y salidas llamados también puertos, en la Figura 15-2 se observa la ubicación de los puertos.

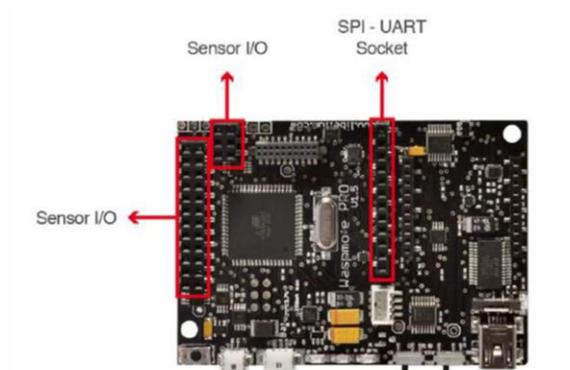


Figura 15-2: Ubicación de los puertos de comunicación en la Waspote
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.8 Identificación de las entradas y salidas de los puertos de la tarjeta Waspote.

En la Figura 16-2 se identifica los pines de conexión de la tarjeta presentando los pines analógicos y digitales.

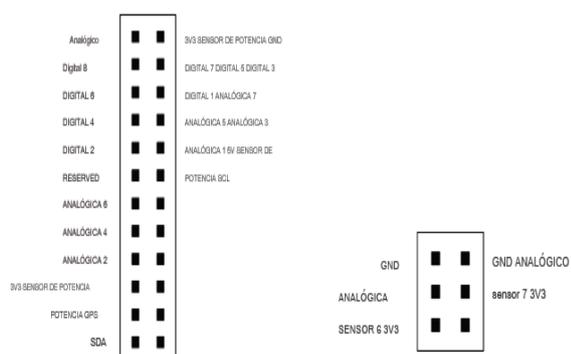


Figura 16-2: Identificación de pines de conexión
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.8.1 Identificación del conector Auxiliar SPI-UART.

En la Figura 17-2 se muestra los pines que tiene el conector auxiliar SPI-UART



Figura 17-2: Pines de conector SPI-UART
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.8.2 Conector de pines analógicos.

La Wasmote posee 7 entradas analógicas en el conector del sensor. Cada una de las entradas está conectadas al microcontrolador, el cual utiliza 10 bits analógico/digital (ADC). (LIBELIUM, 2017)

El valor de referencia para las entradas es 0V (GND), utiliza un valor máximo de 3.3V que es el voltaje del microcontrolador, se puede hacer uso de la función analogRead (entrada analógica), para ser leído se utiliza un parámetro en la entrada “ANALOGO1, ANALOGO 2”, el valor que se obtiene con la función oscila entre 0 y 1023, o corresponde a 0V y 1023 a 3.3 V. Los pines analógicos también se les pueden utilizar como pines entrada/salida digital. En la Tabla 4-2 se observa la lista correspondiente de los pines analógico que pueden ser digitales. (LIBELIUM, 2017)

Tabla 4-2: Nombres de pines analógicos /pines digitales

Nombre de los pines	
Pin analógico	Pin Digital
ANALOGO 1	14
ANALOGO 2	15
ANALOGO 3	16
ANALOGO 4	17
ANALOGO 5	18
ANALOGO 6	19
ANALOGO 7	20

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.8.3 Pines digitales.

La Wasmote posee pines digitales que se puede configurar ya sea como entradas o salidas dependiendo la aplicación, los valores de voltaje serían:

- BAJO: 0 V si trabaja con lógica 0
- ALTO: 3,3 V si trabaja con lógica 1

2.8.4 Diagrama de señales en el bloque principal para la waspmote.

En la Figura 18-2 se visualiza el bloque principal de la tarjeta waspmote con los diferentes componentes y señales que posee.

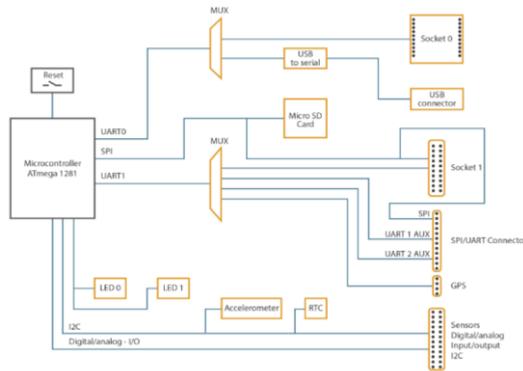


Figura 18-2: Diagrama de bloques componentes de la Waspote

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.8.5 Diagrama Eléctrico de Alimentación de la Waspote.

En la Figura 19-2 se muestra el diagrama eléctrico de alimentación de los componentes que se encuentran en la tarjeta Waspote.

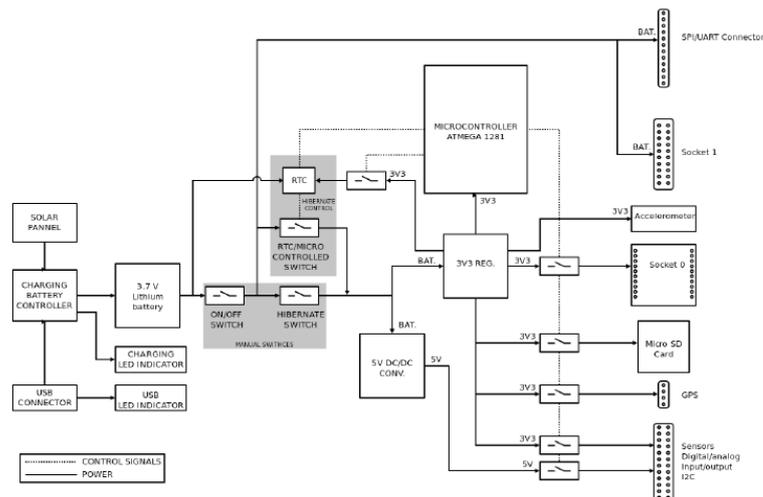


Figura 19-2: Diagrama de alimentación de la Waspote

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.8.6 LED.

En la tarjeta de la Waspote se puede encontrar los LEDs que se menciona a continuación y se observan en la Figura 20-2:

- Indicador LED rojo como su nombre menciona indica que existe una batería conectada y que está siendo cargada. La carga se puede realizar por medio de cable mini-USB o por medio de un panel solar conectando en la Waspote, cuando la

batería este totalmente cargada el led indicador se apaga de forma automática. (LIBELIUM, 2017)

- LED programable, LED 0: LED verde conectado al microcontrolador. Este es totalmente programable por el usuario desde el código de programa. Además, el LED 0 indica cuando Waspote restablece, parpadeando cada vez que una renovación de la placa se lleva a cabo. (LIBELIUM, 2017)
- LED programable, LED 1: Este LED rojo está conectado al microcontrolador. Es totalmente programable por el usuario desde el código de programa. (LIBELIUM, 2017)
- LED de alimentación USB: Un LED verde que indica cuando Waspote se conecta a un puerto USB compatible, ya sea para cargar la batería o programación. Cuando se enciende el LED indica que el cable USB está CONECTADO correctamente. Cuando se quita el cable USB, el LED se apagará automáticamente. (LIBELIUM, 2017)

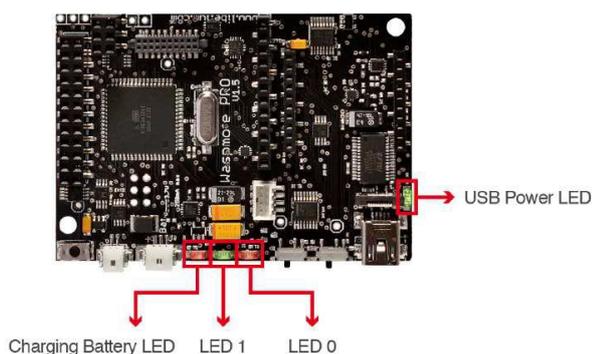


Figura 20-2: Luces Leds de la Waspote
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.8.7 RTC Watchdog para el reseteo de la Waspote.

Es una alarma que está conectada a un circuito de reposición y vigilancia, por si se queda sin funcionar la Waspote, permitiendo esto que no tenga un comportamiento errático, la función de vigilancia necesita de un interruptor de vigilancia física como se observa en la Figura 21-2 el cual tiene que ser puesto en posición de “activar”. (LIBELIUM, 2017)

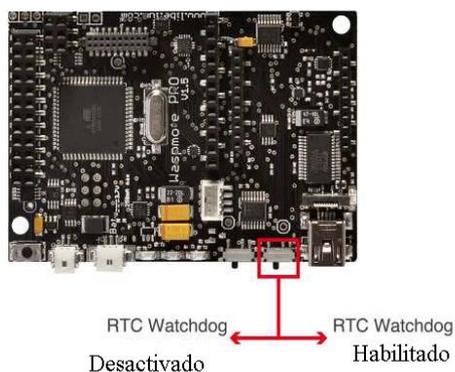


Figura 21-2: Interruptor RTC Watchdog
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.8.8 *Waspote Agriculture v3.0.*

La tarjeta Waspote Agricultura v3.0 permite ubicar varios sensores como son de temperatura, humedad del aire, suelo luminosidad, radiación solar (PAR y UV), velocidad del viento y dirección lluvia, presión atmosférica, humedad de las hojas, distancia y diámetro de la fruta o tronco (dendrómetro). Se puede conectar en esta tarjeta hasta 15 sensores, se alimenta con 3.3V, la placa posee un sistema de interruptores de estado sólido que facilitan la regulación de la potencia, prolongando la vida de la batería. (LIBELIUM, 2017)

En la Tabla 5-2 se observa la descripción de la tarjeta Waspote Agriculture v3.0 la cual posee las siguientes características:

Tabla 5-2: Características de la tarjeta Waspote Agriculture V3.0

Especificaciones Tarjeta Waspote Agriculture v3.0	
Peso	20 g
Dimensiones	73.5 x 51 x 1.3 mm
Rango de Temperatura	[-20°C, 65 °C]

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

En la Tabla 6-2 que se detalla a continuación se visualiza los parámetros eléctricos de la tarjeta Waspote Agricultura V3.0

Tabla 6-2: Datos eléctricos Waspote Agriculture v3.0

Datos eléctricos Waspote Agriculture v3.0	
Voltajes de alimentación de la placa	3,3 V y 5 V
Voltajes de potencia del sensor	3,3 V y 5 V
Corriente admitida máxima (continua)	200mA
Corriente admitida máxima (pico)	400 mA

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

A continuación se detalla el paquete de sensores que soporta la tarjeta agricultura v3.0

- Sensores en el Tablero de Agricultura v3.0 versión "Estándar" o "Normal":
- Sensor de temperatura, humedad y presión atmosférica BME280.
- Sensor de humedad del suelo.
- Sensor de humedad de la hoja LWS.
- Estación Meteorológica WS-3000 (Anemómetro, Veleta y Pluviómetro)
- Sensor de temperatura del suelo DS18B20
- Sensor de distancia (MB7040 o MB7070).
- Sensor de luminosidad TSL2561.

Sensores agregados de la versión PRO (incluye electrónica avanzada para integrar sensores especiales):

- Sensor de radiación solar SQ-110.
- Sensor de radiación ultravioleta SU-100.
- Dendrómetros DC3, DD-S y DF.
- Sensor de temperatura del suelo Pt-1000

Los sensores antes mencionados no vienen incluidos y se puede encontrar en los catálogos del proveedor, todos son compatibles con la Waspote Agriculture V3.0, a continuación se visualiza en la Figura 22-2 el diagrama de conexión de los sensores.

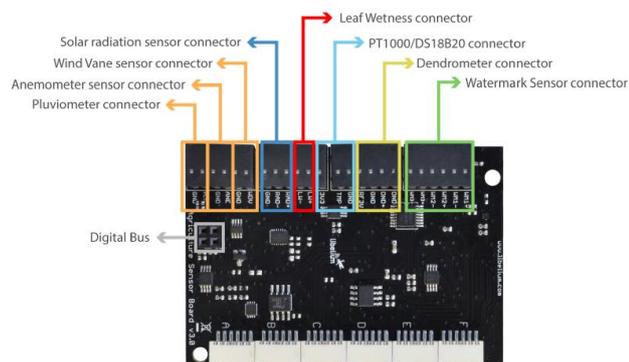


Figura 22-2: Diagrama de conexión de los sensores
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.8.8.1 Especificaciones del sensor multiparámetro (temperatura, humedad y presión).

- Tensión de alimentación: 3,3 V
- Corriente de reposo típica: 0.1 μ A

- Máximo de corriente de reposo: 0.3 μ A

En la Tabla 7-2 se proporciona las características eléctricas del sensor multiparámetro.

Tabla 7-2: Características eléctricas del sensor

Características eléctricas del sensor multiparámetro	
Tensión de alimentación:	3,3 V
Corriente de reposo típica:	0,1 μ A
Máximo de corriente de reposo	0,3 μ A

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

En la Tabla 8-2 se visualiza las especificaciones técnicas del sensor multiparámetro sin olvidar que trae tres en un solo dispositivo.

Tabla 8-2: Especificaciones del sensor multiparámetro

Especificaciones del sensor multiparámetro	
Sensor de temperatura:	
Rango operacional:	-40 ~ +85 °C
Rango de precisión completo:	0 ~ +65 °C
Precisión:	± 1 °C (rango 0 °C ~ +65 °C)
Tiempo de respuesta:	1.65 segundos (63% de respuesta de +30 a +125 °C).
Consumo típico:	medición de 1 μ A
Sensor de humedad	
Rango de medición:	0 ~ 100% de humedad relativa (para temperaturas <0 °C y> 60 °C)
Exactitud:	< ± 3 % RH (a 25 °C, rango 20 ~ 80%)
Histéresis:	± 1 % de HR
Temperatura de funcionamiento:	-40 ~ +85 °C
Tiempo de respuesta (63% del paso 90% a 0% o 0% a 90%):	1 segundo
Consumo típico:	medición de 1.8 μ A
Consumo máximo:	medición de 2,8 μ A
Sensor de presión:	
Rango de medición:	30 ~ 110 kPa
Rango de temperatura operacional:	-40 ~ +85 °C
Rango de temperatura de precisión	0 ~ +65 °C
Precisión absoluta:	± 0.1 kPa (0 ~ 65 °C)
Consumo típico:	medición de 2.8 μ A
Consumo máximo:	medición de 4.2 μ A

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

En la Figura 23-2 se puede observar al sensor multiparámetro.



Punto de Referencia

Figura 23-2: Sensor multiparámetro

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

2.9 Software Utilizados.

El software utilizado para la programación de los sensores es:

- Wasmote Pro IDE v06

EL software utilizado para la configuración de la red es:

- XCTU

El /los softwares de Visualización son:

- Monitor serial
- Hyperterminal
- Labview 2016

2.9.1 Software X-CTU.

Este software permite configurar de manera fácil los módulos RF, brinda actualizaciones de firmware para cada nodo (coordinador, router, nodo final). (DIGI International, 2017)

- Es una aplicación gratuita y multiplataforma compatible con Windows, MacOS y Linux pero no ha sido actualizada en la versión de Windows 10, posee una forma rápida para observar la red de forma gráfica, para configurar la red inalámbrica simple y arquitectura.
- Posee la API Frame Builder que es una herramienta de desarrollo para construir rápidamente marcos de XBee API
- Posee un visor de notas de versión de firmware permite a los usuarios explorar y leer notas de la versión de firmware.

2.9.2 Wasmote Pro IDE v06.

Es un software que se puede descargar de la página Web de la compañía Libelium y es el kit de desarrollo de las Wasmotes, utilizada para cargar código en las tarjetas, también permite monitorear la salida en serie y usarse en la depuración del programa. (Libelium, 2017)

2.10 Lógica Difusa.

Básicamente la Lógica Difusa es una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para

su tratamiento, éste término de lógica difusa fue utilizado por primera vez en 1974. (Cañellas, A. J. C., Brage, L. B. (2006))

En su artículo publicado Zadeh Lofti, indica “Cuando aumenta la complejidad, los enunciados precisos pierden su significado y los enunciados útiles pierden precisión.”, que puede resumirse como que “los árboles no te dejan ver el bosque”.

En la actualidad cualquier problema del mundo puede ser resuelto proponiendo un conjunto de variables de entrada denominados (espacio de entrada), obteniendo a la salida valores adecuados designados como (espacios de salida). La lógica difusa permite establecer criterios de significado y no de precisión, utilizada en un amplio sentido agrupando teorías de conjuntos difusos, reglas si-entonces, aritmética difusa, cuantificadores. (González Carlos, 2012)

2.10.1 Características.

El concepto de incompatibilidad detalla que “la descripción del comportamiento de un sistema complejo no puede realizarse de forma absolutamente precisa”. Zadeh, L. presenta la solución de éste problema planteando la necesidad de obtener herramientas capaces de manejar de forma rigurosa y fiable información imprecisa, lo cual le obliga a desarrollar dos aspectos:

- Representación de la información imprecisa: Para esto lo que propone es el empleo de la Teoría de conjuntos difusos.
- Descripción de la experiencia de los sistemas complejos en sus relaciones entrada-salida mediante proposiciones condicionales del tipo Si-Entonces.

Zadeh L. establece la necesidad de un método de inferencia generalizado e introduce lo que se conoce como Regla Composicional de Inferencia.

Las características esenciales de la lógica difusa y los sistemas difusos se desglosan a partir de este principio. (González Carlos, 2012)

1. El razonamiento exacto puede verse como un caso particular del razonamiento aproximado. Cualquier sistema lógico puede ser fuzzificado. Mediante lógica difusa se puede formular el conocimiento humano de una forma sistemática, y puede ser fácilmente incluido en sistemas de ingeniería. (González Carlos, 2012)
2. El conocimiento se interpreta como una colección de restricciones difusas sobre una colección de variables. Los sistemas difusos son especialmente interesantes para la definición de sistemas cuyo modelo exacto es difícil de obtener (es necesario introducir una aproximación). (González Carlos, 2012)

3. La inferencia puede verse como un proceso de propagación de estas restricciones difusas. (González Carlos, 2012)
4. Se utiliza ampliamente en sistemas de ayuda a la decisión. La lógica difusa permite obtener decisiones con valores incompletos o información incierta. Los sistemas difusos son muy recomendables en aquellos problemas muy complejos donde no existe un modelo matemático simple asociado. Igualmente en procesos que obedecen a un comportamiento no lineal, la solución difusa plantea grandes ventajas. La solución difusa requiere que el conocimiento experto sea expresado lingüísticamente, requisito que es normalmente fácil de obtener. (González Carlos, 2012)

2.10.2 Aplicaciones.

Desde hace años atrás se ha utilizado la lógica difusa en varios aspectos debido a varios factores y en muchas áreas se permite su aplicación ya que reduce considerablemente la necesidad de operadores que basan su conocimiento en la experiencia. Los sistemas desarrollados en lógica difusa son fáciles de diseñar, modificar y mantener y si existe conocimiento el proceso es posible modelarlo mediante lógica difusa. Es muy utilizado en el uso industrial pese a la pérdida de precisión y reducción de tiempo de desarrollo y mantenimiento. (González Carlos, 2012)

Una de las ventajas del control difuso es que permite diseñar soluciones de alta calidad que eviten las patentes existentes en otros sistemas de control. En Japón este tipo de controladores se asocia a modernidad, alta calidad y alta potencia tecnológica. En Europa se oculta el término “difuso” por llegar a interpretar con un significado negativo. En la actualidad multitud de productos de electrónica de consumo emplean lógica difusa como se observa en la Figura24-2. (González Carlos, 2012)



Figura 24-2: Dispositivos que utilizan lógica difusa.
Fuente: González Carlos, 2012, Lógica Difusa introducción a la práctica

Se puede mencionar algunos ejemplos de empresas que hacen uso de Sistemas difusos como son la Empresa Japonesa Matsuhita que utiliza en las lavadoras este sistema de control ya que determina de forma automática el ciclo de lavado según el tipo, la cantidad de suciedad. En el ámbito de la automoción, Mitsubishi y General Motors emplean sistemas de transmisión automática y control de temperatura basados en lógica difusa. Otro caso de éxito es el metro de Sendai (Japón), que cuenta con 16 estaciones. El sistema de control difuso está dividido en dos módulos, uno para el control de la velocidad y otro para la parada automática. Este controlador difuso ofrece importantes ventajas sobre los controladores convencionales, como el mayor confort en el viaje para los pasajeros y menor consumo de energía. (González Carlos, 2012)

2.10.3. Control Difuso.

La lógica difusa ha ganado un gran campo de acción en procesos difíciles de modelar matemáticamente, ya que el diseño y sintonización del controlador difuso se basa únicamente en la experiencia del experto en el proceso. Es decir, a través de la lógica difusa se incorpora el razonamiento humano en el algoritmo de control y simplifica el diseño de controlador. En la Figura 25-2 se observa el diagrama de bloques para el control de un invernadero. (Guzmán D., Castaño V.M., 2006)

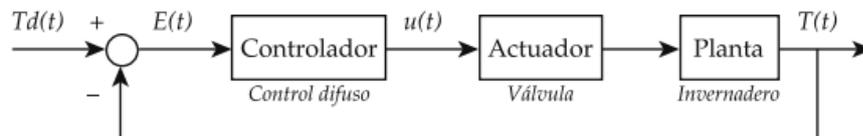


Figura 25-2: Diagrama de bloques del sistema de control con lógica difusa
Fuente: Guzmán D. Castaño V.M, 2006, Ciencia y Tecnología, ISSN: 0378-0524

En la Tabla 9-2 se observa la notación del diagrama de bloques de un sistema de control de lógica difusa donde:

Tabla 9-2: Notación del diagrama de bloques

Notación	Descripción
$T_d(t)$	Temperatura deseada. Rango de 0-10Vcd (0 a 50°C)
$T(t)$	Temperatura sensada del invernadero. Rango de 0-10Vcd (0 a 50°C)
$E(t)$	Error ($T_d(t)-T(t)$)
$u(t)$	Salida del controlador a la planta rango de operación -1 a 1 Vcd

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

El controlador difuso genérico se presenta en el diagrama a bloques de la Figura 26-2. La mayor parte de controladores lógicos difusos genéricos tienen la misma forma de diseño, independientemente del proceso que se va a controlar. La diferencia radica en las reglas del controlador difuso y esto se hará de acuerdo, a la experiencia del operador humano. (Guzmán D., Castaño V.M., 2006)

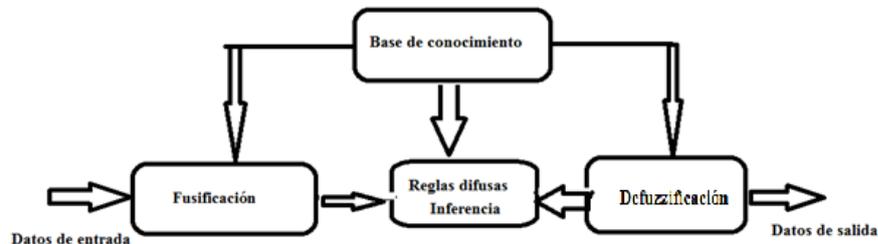


Figura 26-2: Diagrama de bloques de un control difuso genérico
Fuente: Guzmán D. Castaño V.M, 2006, Ciencia y Tecnología, ISSN: 0378-0524

Fusificación.- Su objetivo es convertir valores reales en valores difusos. En este proceso se asigna variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos. (González Carlos, 2012)

Base de conocimiento.- Está asociado con el dominio de la aplicación y los objetivos de control. En esta etapa se debe definir las reglas lingüísticas de control, que realizarán la toma de decisiones que decidirán como la forma en la que debe actuar el sistema. (González Carlos, 2012)

Reglas difusas.- Se relaciona los conjuntos difusos de entrada y salida para representar las reglas que definirán el sistema. Se utiliza la base de los conocimientos para generar reglas, mediante el uso de condiciones. (González Carlos, 2012)

Defuzzificación.- Realiza el proceso de adecuar los valores difusos generados en la inferencia de valores de entrada que se utilizaran en el proceso de control. En este proceso se utilizan métodos matemáticos simples como el método del Centroide, método del Promedio Ponderado, método de Membresía del medio del Máximo. (Botía Juan, Valdés Mercedes, 2017)

2.10.4 Clasificación de modelos difusos.

Se pueden clasificar por el número de variables de entrada y salidas. (Botía Juan, Valdés Mercedes, 2017).

SISO (Single Inputs Single Output).- formado por una variable de entrada y una salida.

MIMO (Multiple Inputs Multiple Outputs). Múltiples variables de entrada y múltiples variables de salida.

MISO (Multiple Inputs Single Outputs). Modelo de múltiples entradas y una sola variable de salida.

Variables involucradas:

Reglas completas. Son todas las reglas que conforman el modelo difuso, están involucradas las mismas variables de entrada.

Reglas incompletas. Reglas formadas por subconjuntos total de variables (aquellas que no aparecen se les asume grado de pertenencia 1).

El punto de inicio para construir un sistema difuso es obtener una colección de reglas difusas basadas en el conocimiento humano. El siguiente paso es combinar estas reglas en un sistema simple. Los diferentes sistemas difusos emplean diferentes principios de esta combinación. (Vera Oscar, 2011)

Existen dos tipos de sistemas difusos empleados comúnmente:

- Sistemas difusos puros o de Mamdani,
- Sistemas difusos Takagi-Sugeno-Kang (TSK)

En este trabajo se tomará los conceptos de Takagi-Sugeno.

2.10.5 Modelo Difuso Takagi-Sugeno.

En el sistema difuso Takagi-Sugeno se distinguen las siguientes partes como se puede observar en la Figura 27-2:

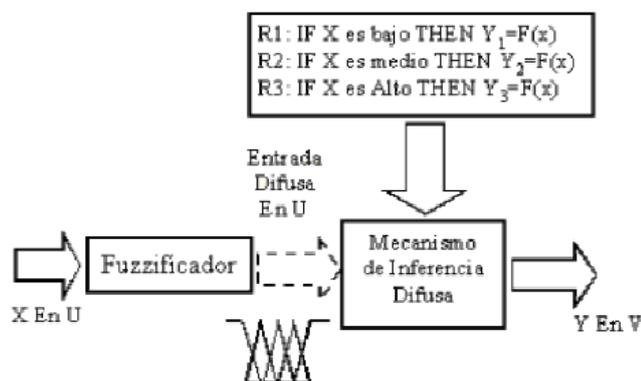


Figura 27-2: Sistema Difuso Takagi-Sugeno, Procesamiento General
Fuente: Sánchez Raúl, Inteligencia en Redes de Comunicaciones

Fuzzificador.- Es un valor numérico que viene del sensor, que tiene que ser convertido a un lenguaje que el mecanismo de inferencia pueda procesar, para que pueda ser convertido en valor difuso y procesado por el mecanismo de inferencia. (Sánchez Raúl)

Mecanismo de inferencia difusa.- Luego que el fuzzificador arroje diferentes niveles de pertenencia, ingresan al mecanismo de inferencia para ser procesados y generar la salida difusa apoyado en la base de reglas propuestas. (Sánchez Raúl)

Base de reglas Difusas.- Es la manera que tiene el sistema de guardar el conocimiento lingüístico que le permite resolver el problema y estas reglas son del tipo IF-THEN. (Sánchez Raúl)

Una regla de la base de reglas posee dos partes, el antecedente, y la conclusión como se observa en la Figura 28-2:

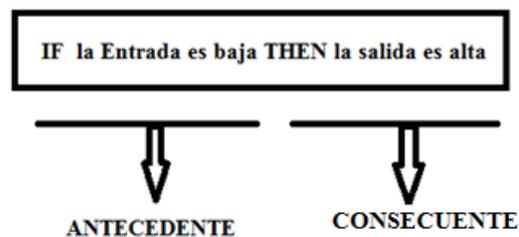


Figura 28-2: Partes que se divide la regla
Realizado por: María Márquez

Defusificador.- Este componente de la parte del control de lógica difusa Sugeno nos permite convertir la salida difusa del mecanismos de inferencia para que pueda ser interpretado por un elemento externo (controlador), ya que estos solo manipulan datos numéricos. (Sánchez Raúl)

Para calcular la salida del sistema difuso se tendrán las consecuencias teniendo el valor que se activó y el antecedente de cada regla, para un sistema de dos reglas la salida del sistema difuso sería:

$$y = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2}{w_1 + w_2} \quad (1)$$

Ecuación 1-2: Sistema Difuso Takagi-Sugeno

Se debe recordar que la arquitectura TSK consiste en una serie de reglas si-entonces de la forma:

$$\text{Regla } i: \text{ Si } X(t) \text{ es } A \text{ entonces } Z \text{ es } Y = k_{i0} + k_{i1}X(t) \quad (2)$$

Ecuación 2-2: Regla de IF-THEM

Donde A es un conjunto difuso, X son los atributos observables o medibles del sistema, Z son los atributos controlables del sistema y Y es una ecuación de salida lineal.

Takagi y Sugeno, en 1985, definieron la función de pertenencia de un conjunto difuso A como $\mu_A(x)$, para todo $x \in \chi$. Algunos conjuntos difusos se asocian con funciones de pertenencia lineales.

Así, una función de pertenencia está caracterizada por dos parámetros:

1 es mayor grado de pertenencia, y 0 es el menor grado de pertenencia.

Para dos conjuntos difusos dados A y B, el valor de verdad de la proposición “x is A and y is B” se expresa por

$$\|x \text{ is A and } y \text{ is B}\| = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \quad (3)$$

Ecuación 3-2: Valor de verdad de la proposición

La relación de la Ecuación 3-2, es importante para el modelo difuso Takagi-Sugeno (TS), el cual consiste en un conjunto de reglas R_i con la siguiente estructura:

$$R_i: \text{if } x \text{ is } A_i \text{ then } y_i = a_i^T \cdot x + b_i \quad (4)$$

Ecuación 4-2: Estructura del modelo Takagi-Sugeno

Donde $x \in \chi \subset \mathbb{R}^n$ es el vector de entrada, A_i es un conjunto difuso (multidimensional) y $\mu_{A_i}: \chi \rightarrow [0,1]$, $y_i \in \mathbb{R}$ es la salida de la i -ésima regla, $a_i \in \mathbb{R}^n$ es un parámetro vectorial, $b_i \in \mathbb{R}$ es un escalar, donde r es el número de reglas, y el índice $i \in [1,2,\dots,r]$. Dadas las salidas de los consecuentes individuales y_i , la salida total y del modelo difuso Takagi-Sugeno (defuzzificación) es calculada usando una regla general que se observa en la ecuación a continuación:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^r w_i(x) \cdot y_i}{\sum_{j=1}^r w_j(x)} \quad (5)$$

Ecuación 5-2: Regla para aplicar luego del defusificador Takagi-Sugeno

Donde w_i es el grado de compromiso del antecedente de la i -ésima regla, calculado como el grado de pertenencia de x en el (interior) conjunto difuso A_i :

$$w_i(x) = \mu_{A_i}(x) \quad (6)$$

Ecuación 6-2: Grado de compromiso del Antecedente

Con el grado de compromiso

$w_i(x) = \mu_{A1}(x_1) \wedge \mu_{A2}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{An}(x_n)$ (7) usando el grado de compromiso normalizado.

$$h_i(x) = \frac{w_i(x)}{\sum_{j=1}^r w_j(x)} \quad (8)$$

Ecuación 7-2: Grado de compromiso normalizado

Entonces se puede interpretar el modelo Takagi-Sugeno como un modelo cuasilineal con dependencia en el parámetro de entrada.

$$y = \sum_{i=1}^r h_i(x) * (a_i^T * x + b_i) \quad (8)$$

Ecuación 8-2: Modelo Cuasilineal dependiente del parámetro

2.11 Aspectos Técnicos Para Cultivos De Fréjol.

Para realizar un cultivo adecuado se debe considerar aspectos técnicos que contribuyan a mejorar el proceso de sembrado siendo que los cultivos de fréjol también se los realiza en otros países se acoge recomendaciones y se ajusta a la realidad de la zona; existen variedades y cada una tiene especificaciones de acuerdo a la zona donde se siembra, requerimientos de clima, humedad entre otros.

El acceso al agua:

Debe estar próximo a las áreas de establecimiento del cultivo, para poder abastecer de agua la bomba de aspersión, diluir los productos químicos y así realizar las labores de control de malezas, insectos y enfermedades; si el agua esta distante se pueden realizar obras de cosecha de agua, que consiste en hacer un hueco en el suelo y poner un plástico sobre él para recoger y almacenar el agua de lluvia, lo que representa una inversión adicional. (ASOPROL, 2009)

La vegetación existente

Es muy importante la determinación de la vegetación existente y el cultivo anterior que se dio en la parcela, estos pueden ser un indicativo del éxito en la futura plantación. La presencia de malezas dentro del área y los alrededores de la parcela por lo general son refugios de ciertos insectos plagas y enfermedades. También se pueden determinar la fertilidad por la presencia de plantas indicadoras de terreno fértil. (ASOPROL, 2009)

Plantas que presentan decoloración en sus hojas tornándose a colores amarillentos son síntomas indicativos de encharcamiento, como el coyotillo y la malva, los cuales representan las futuras enfermedades que se pueden presentar en el cultivo. (ASOPROL, 2009)

La ubicación del terreno

La ubicación del terreno es muy importante ya que se considera la orientación predominante de los vientos, en terrenos que estén desprotegidos se pueden hacer cortinas rompe vientos con árboles, disponiéndolos en hileras en contra de la dirección del viento de manera que formen una barrera que proteja y disminuya la velocidad de los mismos, estos vientos por su duración y velocidad causan requemas al cultivo al provocar deshidratación de las partes aéreas de las plantas y las afecta por la difusión de plagas y enfermedades. Hay que realizar una inspección al terreno para determinar la presencia de babosas, si se encontrara un alto número de individuos en la parcela y sus alrededores se deben realizar actividades de control para bajar poblaciones antes de la siembra. (ASOPROL, 2009)

2.11.1 Suelos y su Conservación.

Tipo de suelo

Los suelos más adecuados para la producción del fréjol son los francos arcillosos y los francos arenosos, este tipo de suelo permiten la aireación del suelo importante para la formación de nódulos (pelotitas) en las raíces, y permite que estos absorban el aire de la atmósfera para la captación de nitrógeno libre y su incorporación a las plantas de fréjol favoreciendo un incremento en la producción del área sembrada. (ASOPROL, 2009)

(Andino, 2011), el fréjol se desarrolla mejor en suelos con pH de 6.5 a 7.5, rango en el cual la mayoría de nutrientes de la planta se encuentran en su máximo grado de disponibilidad. Sin embargo, el fréjol puede tolerar bajos niveles de pH, entre 4.5 y 5.5, pero a niveles inferiores, generalmente se presenta toxicidad por aluminio y/o manganeso. En suelos alcalinos, el fréjol puede tolerar niveles de pH de alrededor 8.2.

Preparación del suelo

Una buena preparación del suelo provee las condiciones adecuadas para que las semillas del cultivo presenten una buena germinación, se desarrolle con un excelente vigor y se obtenga una excelente producción. Las labores que generalmente han realizado los productores y han obtenido buenos resultados son: (ASOPROL, 2009)

- Chapoda
- Basureo (montoneo y distribución de la basura)
- Labranza mínima
- Aplicación de herbicidas pre-siembra

Chapoda

Esta labor consiste en la limpieza del terreno de toda la maleza que exista en el campo, utilizando machete, los productores la realizan en marzo o a inicios del mes de abril para exponer el suelo a una máxima radiación solar con el objetivo de desinfectar el suelo de plagas, enfermedades y semillas de malezas. Se realiza el control de sombra (desramado) de los árboles dentro de la parcela o a orilla de las mismas. (ASOPROL, 2009)

Basureo

Consiste en el manejo del rastrojo que quedó en el terreno producto de la chapoda. Los productores la realizan de tres maneras:

- Recogen el rastrojo (broza) en montones en toda la parcela y luego le pegan fuego, esta labor generalmente la realizan cuando hay mucho rastrojo y cuando observan presencia de plagas como babosas, rosquillas, gusanos cuerudos entre otros. (ASOPROL, 2009)
- Otra forma es desparramar la broza (rastrojo) en toda la parcela para que esta se descomponga y se incorpore al suelo mejorando su estructura y el contenido de materia orgánica, la cual conservan la humedad y evitan daños de enfermedades por salpique. (ASOPROL, 2009)
- Poner el rastrojo (broza) amontonado en hileras sobre las obras de conservación de suelo, las cuales sirven como trampas para el control de babosas. (ASOPROL, 2009)

Labranza

El uso del arado o realizar unos pases del mismo permite romper la parte compacta del suelo y darle mayor aireación para un mejor desarrollo de las raíces, algunos productores realizan la arada de sus terrenos, con tractores o con bueyes, sin embargo, arar en suelos con altas pendientes no es recomendable por la alta pérdida de suelo por lluvias intensas. (ASOPROL, 2009)

Es importante considerar el ingreso de animales a pastorearse en las áreas de siembra ya que compactan el suelo con pisoteos y con esto se evita realizar continuos arados en la misma área;

arar la parcela solo cuando lo amerite y en lugares con pendientes inferiores al 5%. (ASOPROL, 2009)

La mayoría de los productores de la zona siembran al espeque, es decir labranza mínima, que consiste en la roturación del suelo solo donde se depositará la semilla, los residuos no se queman; sino que se dejan cubriendo la superficie con la cual se forma una capa de materia en descomposición llamada mulch. (ASOPROL, 2009)

Se recomienda realizar muestreo de suelo (consiste en hacer hoyos de 15 a 20 cm.) dentro de la parcela como en áreas circundantes para la determinación de plagas del suelo como gusano alambre, cuerudo entre otras, así como la inspección sobre la presencia de posturas (huevos) de babosas en las muestras de suelo obtenidas. (ASOPROL, 2009)

Aplicación de herbicidas pre-siembra

Se recomienda realizar una aplicación de herbicida seis días antes de la siembra, o que se observe un estado de desarrollo de las malezas de un máximo de 15 cm de altura. Esto nos permite establecer el cultivo en un área limpia de malezas que compitan en los primeros 10 días de desarrollo de las plántulas del cultivo. Es importante que el productor que realiza la aplicación use equipo de protección. (ASOPROL, 2009)

2.11.2 Siembra.

Fechas de siembra

En la zona productora de fréjol existen épocas de siembra como se observa en la Tabla 10-2 a continuación:

Tabla 10-2: Épocas y Fechas de siembra por zona

TIPO DE FRÉJOL	ZONA	ÉPOCA	
Arbustivo	Valle	Febrero a abril	Septiembre a noviembre
	Estribaciones	Abril- a Julio	
Voluble o –trepador	Dependiendo de la zona	Septiembre a Diciembre	
	Estribaciones Cordillera	Abril a Mayo	

Fuente: Peralta I, Eduardo; Vasquez G, Jose; Mora C, Eloy; Pinzon Z, Jose; Lepiz I, Rogelio, 2010, Manual de Leguminosas

Estas siembras están en función de hacer que las cosechas coincidan con los períodos secos, estas son fechas que los productores por experiencias han venido ajustando en cada período con el único objetivo de garantizar la cosecha.

La época de arrastre

Es típica para la comunidad, esta es una siembra de primera, con la diferencia que todas las labores se realizan un poco más tarde para dejar que el invierno se establezca.

Selección de semilla

Características de una buena semilla: La semilla debe tener buena forma, calidad y color uniforme sin efecto de daños por plagas y enfermedades.

Semilla

El productor debe estar claro que hay diferentes categorías de semilla que autoriza el MAGAP estas son en orden ascendentes, Básicas, Registrada y Certificada; ocasionalmente se ha recurrido a falta de semilla certificada por alguna catástrofe natural, como sequías o huracanes, a la autorización de unas categorías como Autorizada y Apta, que es simplemente la utilización de grano de alta calidad. Para cada categoría da una etiqueta que garantiza la calidad de esa semilla. (Peralta E., et al.2010)

Donde obtener semilla: En la actualidad existen una gran cantidad de empresas que producen y distribuyen semillas, el agricultor debe velar porque su semilla de siembra este en excelentes condiciones.

2.12.3 Sistemas De Siembra.

(Peralta E., et .al., 2010) afirma que se acostumbra a realizar la siembra de fréjol en asocio con el maíz, la distancia entre surcos es de 80cm, la distancia entre sitios se recomienda de 80 cm, el número de semillas por sitio: 3 de fréjol más 3 de maíz, si la siembra es por espaldera 2 plantas por sitio a 40cm entre sí y a 1 metro entre surcos. En el caso de que la siembra del fréjol sea para semilla no debe sembrarse en asocio o en relevo con otro cultivo para evitar competencia.

Etapas de desarrollo del cultivo

Las etapas de desarrollo del cultivo son diez, cinco de desarrollo vegetativo y cinco de desarrollo reproductivo, siendo que el número de días para las variedades mejoradas actuales oscilan entre 62 a 77 días a madures después de la siembra. (Ochoa Emilio, 2013)

Días después de la siembra se observa en la Figura 29-2.

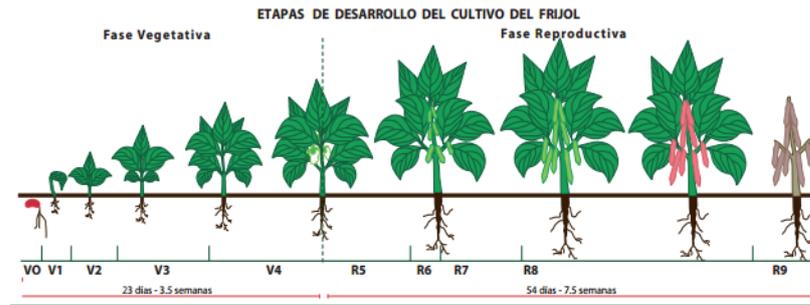


Figura 29-2: Etapas de desarrollo del cultivo

Fuente: Ochoa Emilio, Recuperado: <http://studylib.es/doc/3615485/tesis-final-emilio-ochoa-t.pdf>

(Ochoa Emilio, 2013) hace referencia (Farmex 2010) observando que el clima en Ecuador permite que el cultivo de fréjol se pueda adaptar a cualquier sector se recomienda temperaturas de 20 a 28°C y altitudes de 00 a 1600 m.s.n.m, con un mínimo de 400 a 600 mm de lluvia, considerando que la necesidad de agua es hasta iniciar su maduración. Los datos estadísticos señalan promedios de 541 kg/ha de grano seco y 1.474 kg/ha en vaina verde. Es importante analizar los rendimientos de fréjol arbustivos y volubles, puesto que en parcelas comerciales de arbustivos tienen un promedio de 1.000 kg/ha y en volubles 300 kg/ha, en grano seco.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

3.1 Diseño e Implementación de la red de Sensores.

El bosquejo del proyecto que se construyó se presenta a continuación y consta de varios componentes como se observa en la Figura 1-3.

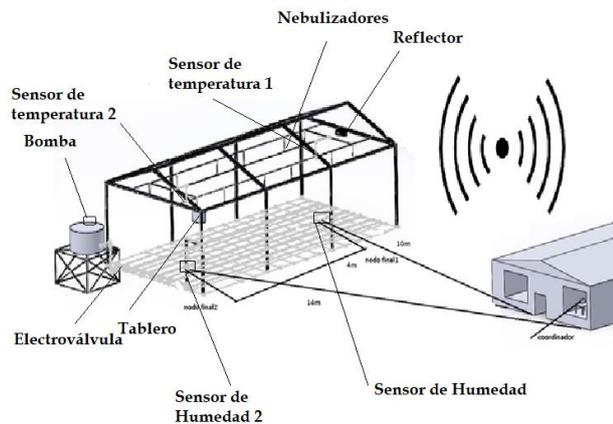


Figura 1-3: Invernadero red de sensores ubicada
Realizado por: María Márquez

El proyecto posee un sistema de riego el cual está conectado a un tanque que se ha instalado a una altura de aproximadamente de 1m del suelo para ubicar el sistema de mangueras que está compuesto por una electroválvula que activará el sistema de goteo. Adicional se instaló el sistema de nebulizadores activados por una bomba la cual se pone en funcionamiento cuando la temperatura del invernadero sobrepase de lo establecido.

Posee un reflector de gran potencia que se instaló para encender en el momento que la temperatura del sistema baje con respecto a lo establecido.

Se tiene los sensores instalados simétricamente para controlar la variable de humedad y temperatura. Estos dispositivos trabajan con el estándar propuesto que es el 802.15.4, adicional son conectados para capturar los datos y enviarlos al coordinador central a través de la waspmote placa de control propuesta en el proyecto.

3.1.1 Análisis del entorno agrario.

3.1.1.1 Ubicación.

El entorno de implementación del invernadero se encuentra ubicado en la provincia de Chimborazo en el sector el Batan ubicada al sur occidente de la provincia, situada a una altitud de 2764 msnm, el terreno escogido se muestra en la Figura 2-3.



Figura 2-3: Ubicación donde se construyó el invernadero
Realizado por: María Márquez

Una vez seleccionado el terreno se procede a realizar la limpieza para construir el invernadero considerando varios aspectos como son: tipo de suelo, características del clima del sector, dimensiones, materiales, etc; siendo el que se elija un invernadero de tipo capilla conocido como agua o dos aguas; ya que tiene techo que forma planos inclinados aproximadamente de 25° sin mostrar problema alguno por acumulación del agua lluvia; además permite que el agua se deslice normalmente, en la figura 3-3 a continuación se observa la instalación y templado del plástico. En el Anexo se puede observar imágenes de los planos del invernadero, con sus dimensiones.



Figura 3-3: Instalación del plástico en el invernadero
Realizado por: María Márquez

Las medidas de la construcción del invernadero es 6 de ancho * 12 de largo internamente solo se utilizó terreno de 4 de ancho * 9 de largo dejando espacio para movilización en el invernadero, posee una altura de 5 m de alto en el centro y 3.5 m en los laterales, todo el invernadero está cubierto de plástico propio para invernadero, estructura de madera seca.

Se procedió a readecuar todo el sistema para riego, enfriamiento y calentamiento, como se puede observar en la Figura 4-3.



Figura 4-3: Sistema de riego
Realizado por: María Márquez

Una vez culminadas las adecuaciones del invernadero, se procede a realizar la preparación del terreno realizando un análisis para observar los nutrientes que le falta antes de realizar la experimentación. Observar la Figura 5-3 se visualiza los resultados del análisis del terreno.

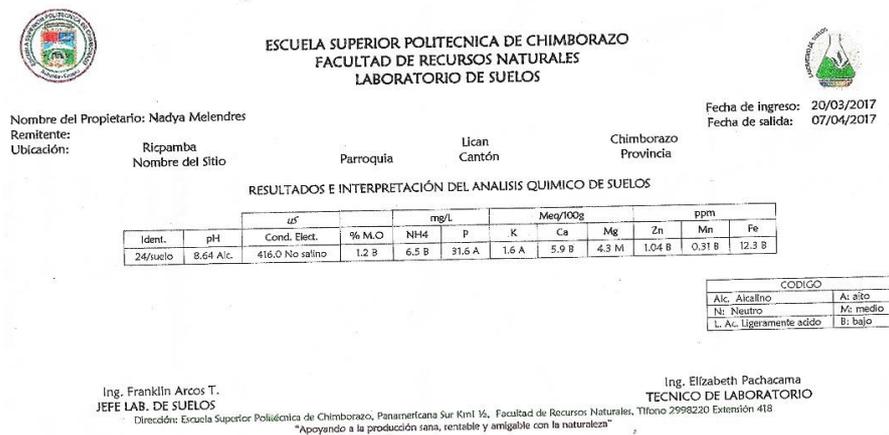


Figura 5-3: Resultado del análisis de suelo
Fuente: Laboratorio de Suelos de la ESPOCH

Después de obtener los resultados se procedió a comprar los nutrientes recomendados por el técnico para preparar el terreno y se aplicó los nutrientes que se enlistan en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3: Nutrientes faltantes en el terreno

Lista de nutrientes que le hacen falta al terreno
Materia orgánica
Nitrógeno
Calcio
Zinc
Manganeso
Hierro
Magnesio
DAP 18-46-00
Multimix
K-mag

Fuente: Agrónomo Edison Fernando Lamiña

Para la semana del 18 de Julio del 2017 se procede al proceso de siembra siendo la semilla escogida del fréjol Toa rayado de guía, equivalente a un porcentaje de 113.39 gramos los que se procedieron a sembrar, para realizar el proceso de siembra se consideró todas las recomendaciones que han sido publicadas por entidades que se dedican a la producción, mejora e investigación de los procesos de cultivo, en la tabla 2-3 se observa las características climáticas, tipo de suelo, ciclos de cultivo, época de siembra, fertilización, etc.

Tabla 2-3: Tabla característica para siembra de Fréjol voluble

Fréjol voluble Trepador	
Nombre científico	Phaseolus vulgaris L.
Zona de cultivo	Carchi, Imbabura, Pichincha, Chimborazo, Bolívar, Loja (para variedades liberadas por INIAP)
Altitud	2000 a 2900 m s.n.m.
Clima	Lluvia: 500 a 900 mm de precipitación en el ciclo
Temperatura	12 a 18° C
Suelo	Francos y franco arcillosos con buen drenaje pH: 5.6 a 7.5
Variedades mejoradas	INIAP-412, Toa (rojo moteado) Hábito : Iva
Ciclo de cultivo promedio	I-412: 160 días en tierno a 180 días en seco
Preparación del suelo	Arada, rastrada y surcado.
Siembra	Época Septiembre a diciembre, dependiendo de la zona.
Cantidad	Cantidad 30 kg por ha en asociación con maíz (Guandango, Chaucho, Chillos, Morochos, Guagal, Zhima, etc.).
Sistema asociado	3 plantas de maíz más 2 de fréjol por sitio, distanciadas a 0.8 m entre sí y a 0.8 m entre surcos.
Espaldera o Tutores	2 plantas por sitio a 40 cm entre sí y a 1 m entre surcos.
Fertilización	150 a 200 kg de 18-46-0 por ha a la deshierba, más 90 kg de Urea al aporque cuando está asociado.

Fuente: Peralta, Eduardo: https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi5i5nCGNDXAhXM1IMKHV1pC5gQFggMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.iniap.gob.ec%2Fnsite%2Fimages%2Fdocumentos%2FManual_agricola%2520_leguminosas.pdf&usg=AOvVaw1e8aNYoYYf9_GIVtWIDteg

En la Figura 6-3 se observa como se consideró los surcos con un espaciado de 0.50 cm entre sí, además se colocó de dos a tres semillas en cada hoyo a 3 cm de profundidad, de planta a planta existe una separación de 0.50 cm.



Figura 6-3: Proceso de siembra del Fréjol Toa
Realizado por: María Márquez

Para la semana del 2 de Julio se observa el crecimiento de la planta en el invernadero y se muestra en la figura 7-3.



Figura 7-3: Evolución del crecimiento de la planta
Realizado por: María Márquez

Para la semana del 22 de Julio se toma nuevamente imágenes para ver la evolución del crecimiento de la planta como se observa en la figura 8-3.



Figura 8-3: Evolución del crecimiento de la planta
Realizado por: María Márquez

En la Figura 9-3 se visualiza como fueron creciendo las plantas y como se van guiando en los hilos que se colocó en cada planta y se realizó un seguimiento de su crecimiento.



Figura 9-3: Guía de las plantas
Realizado por: María Márquez

En la figura 10-3 se visualiza la etapa de floración del fréjol.



Figura 10-3: Floración del Fréjol
Realizado por: María Márquez

Para la fecha del 1 octubre la evolución y el crecimiento de las plantas se le observa en la Figura 11-3 mostrada a continuación.



Figura 11-3: Etapa de crecimiento de la planta
Realizado por: María Márquez

En la Figura 12-3 se visualiza el crecimiento de las plantas y ya la presencia de sus frutos



Figura 12-3: Planta de Fréjol, frutos
Realizado por: María Márquez

Una vez realizado la adecuación del terreno y sembrado de la semilla se realiza el estudio de planificación para la instalación física de la red donde se procede a realizar el diseño lógico de la misma y la programación de los Wasmotes para habilitar la comunicación con cualquier nodo desde la central. Para armar la red se eligió contar con un coordinador (central), dos nodos finales para facilitar la captura de los datos los cuales tendrán los sensores que se utilizaran para la obtención de los datos para el proyecto.

Para el desarrollo de la red se configuró con topología estrella, donde todos los nodos se comunican directamente con el coordinador, sin necesidad de existir nodos enrutadores de paquetes, las razones porque se consideró esta topología son las siguientes:

- Las distancias entre los nodos no son tan grande como para encontrar problemas de comunicación entre ellos y el coordinador.

- Se minimiza el número de dispositivos que forman la red, abaratando por tanto los costos.
- Se evita la necesidad de que algunos nodos sean enrutadores. Ya que este tipo de nodos enrutadores tienen que mantenerse siempre despiertos a la espera de recibir mensajes de otros nodos. Al no haber nodos routers en la topología en estrella, se ahorra energía.
- La configuración de los dispositivos y el funcionamiento de la red son más sencillos

En la Figura 13-3 se observa la estructura lógica de la red como presenta el software que se usó para configurar los nodos y el coordinador central.

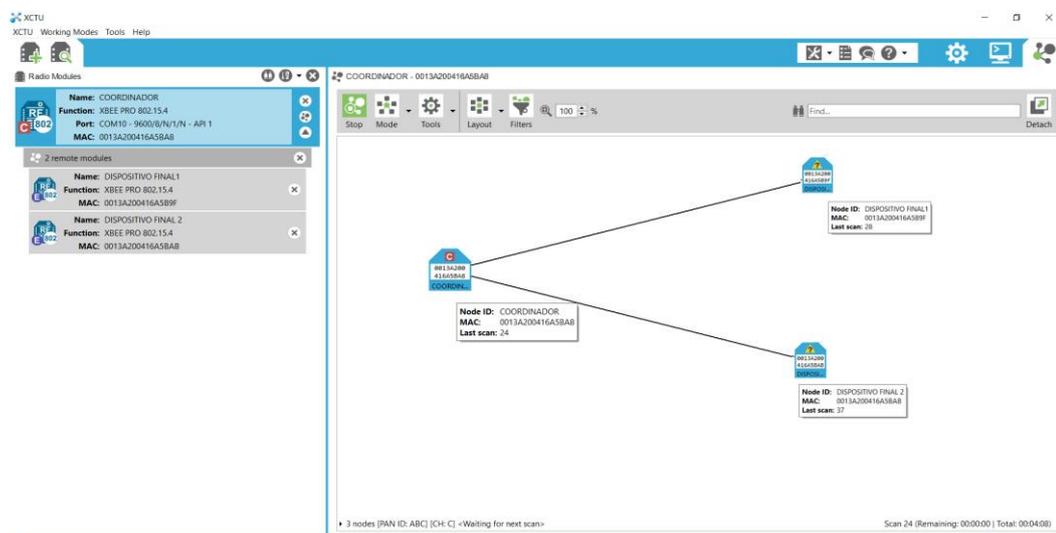


Figura 13-3: Estructura lógica de la red
Elaborado por: María Márquez, captura de pantalla software XCT-U

3.12.2 Diseño del nivel de red.

El protocolo RF Digi Internacional con Xbee 802.15.4 PRO S1 será el encargado de la comunicación de los Waspnotes, y trabajará en un rango de frecuencia que va desde 2.400-2.4835 GHz.

El protocolo dispone de la capa MAC que garantiza:

- Entrega fiable punto a punto mediante la realización de retransmisiones.
- Comprobación de la integridad de las tramas recibidas mediante un código de redundancia cíclica (CRC).

Para identificar el nodo origen y destino en la red se hace uso del direccionamiento, es decir tanto el origen y destino se colocará la dirección para que se puedan comunicar.

Para diseñar un nivel de red en resumen los dos elementos básicos son:

- **Direccionamiento:** Para identificar de manera única a los nodos ya sea dentro de la misma red o entre redes.
- **Encaminamiento:** Conexión entre dos nodos cualquiera de la red o entre redes.

Una parte importante del proyecto es la comunicación de la red, los Waspotes se programan de tal forma que permitan:

- Verificar el funcionamiento adecuado del protocolo de red: Demostrando que el direccionamiento funciona y los nodos entregan la información requerida.
- Realizar mediciones de calidad del enlace: Comprobando el número de paquetes recibidos correctos /total de reenvíos realizados para entregar dichos paquetes.
- Armar la red de sensores que realizan medidas desde diferentes puntos y las envían al coordinador donde se monitorizan y procesan: Para ello, además de la información útil para el protocolo de red que permite la comunicación entre los nodos, se envían medidas tomadas de los Waspotes (Temperatura, humedad, si se prefiere el nivel de Batería, Duty Cycle y la fecha y hora en que se toman). Las medidas se tomarán desde sensores situados en el invernadero.

Estos nodos del nivel de red se suelen clasificar en nodos finales (que son los que generan y reciben paquetes), nodos intermedios (que son los que conducen los paquetes a su destino).

En el caso de la red, todos los nodos actuarán como nodos intermedios y finales ya que producen paquetes con información de monitorización y a la vez, actúan como dispositivos finales encaminando paquetes hacia el nodo coordinador donde se procesan y controlan los datos.

El direccionamiento se realiza mediante direcciones MAC.

3.12.3 Elección del tipo de direccionamiento y encaminamiento.

Cano Moreno, 2012 afirma que esta elección dependerá definitivamente de las necesidades de la red, en el caso del proyecto planteado, la estructura de la red presenta las siguientes características:

1. Número de nodos limitado con expectativas de crecimiento.
2. Emplazamiento de los nodos fijo.
3. Número de rutas alternativas posibles limitadas.

4. Homogeneidad de la tecnología.

3.12.3.1 *Encaminamiento*. Para la propuesta se ha elegido un modelo estático. Las tablas de encaminamiento se consideran estáticas ya que se fijan de forma manual los direccionamientos, existen dos tipos de mensajes Keepalives de tipo Node y Keepalives de tipo Link (Cano Moreno, 2012).

Los Keepalives de tipo Node son mensajes que envían los nodos hacia el coordinador, utilizados en el proyecto propuesto (Cano Moreno, 2012).

Los Keepalives de tipo Link son mensajes recibidos de forma periódica desde los nodos adyacentes (Cano Moreno, 2012).

Los mensajes de Keepalive de tipo Node tienen tres objetivos (Cano Moreno, 2012):

1. Informar al nodo receptor que los nodos no están caídos.
2. Servir al algoritmo de encaminamiento para seleccionar un camino u otro.
3. Monitorizar. Estos mensajes se envían cada 30 segundos al siguiente salto, sirviendo para el encaminamiento y para la monitorización.

Por otra parte, los mensajes de Keepalive de tipo Link, se envían cada 5 minutos desde cada nodo a todos los nodos adyacentes, y tienen como objetivo informar por parte de dicho nodo a sus adyacentes de que el mismo sigue vivo y por tanto el radioenlace que los une, también. (Cano Moreno, 2012).

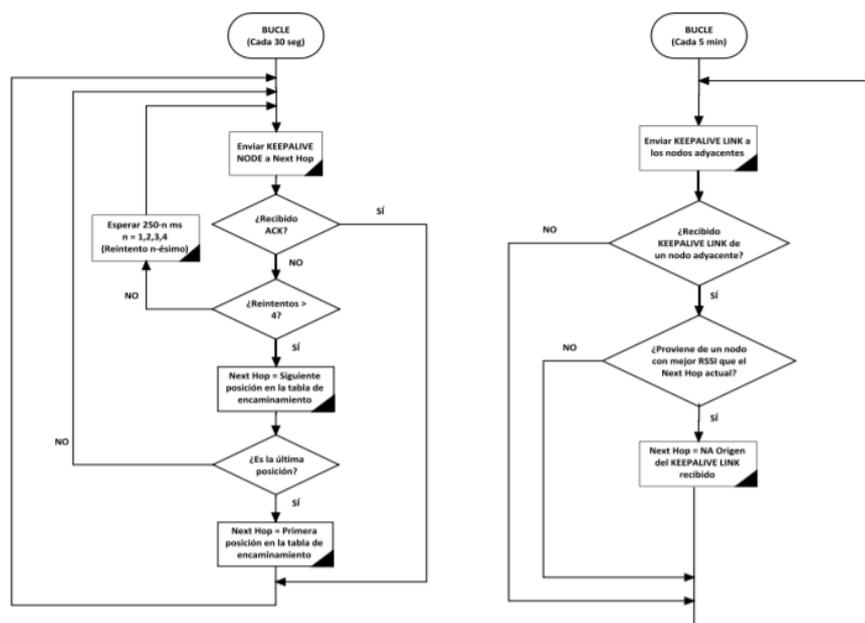


Figura 14-3: Algoritmo de encaminamiento

Fuente: (Cano Moreno, 2012)

En la Figura 14-3 se observa dos algoritmos de encaminamiento, efectuados en bucles infinitos en paralelo, el uno que se repite cada 30 segundos, y el otro cada 5 minutos. (Cano Moreno, 2012).

Este se desarrolla con el envío de un mensaje de Keepalive a su “Nex Hop” y si no se encuentra ningún problema, no efectúa nada. El keepalive llegará al siguiente nodo y enviará al nodo 0000 es decir al Waspote Gateway la información. Si en caso de que no se reciba ACK en la MAC enviada, se reintentará enviar el paquete. (Cano Moreno, 2012).

3.12.3.2 *Tablas de encaminamiento.* Este tipo de tablas se programan cuando la comunicación se proporciona en un sentido. Los mensajes se enviarán desde los nodos finales que poseen la tarjeta de los (sensores) hasta el coordinador, sin olvidar que poseen un encaminamiento estático, en tal caso si en algún momento se requiere que el coordinador envíe información al resto de nodos se podría utilizar la tecnología con la facilidad de programar, en la tabla 3-3 se observa el direccionamiento de los nodos de la red.

Tabla 3-3: Presentación del direccionamiento de los nodos

Tabla de encaminamiento del nodo final1 y nodo final2		
Destino (NA)	Next Hop (NA)	Next – Hop (MAC)
13A200	Dispositivo final	0013 A 200
416A5BA8		416A 5BAB
13A200	Dispositivo final	0013 A 200
416A5BA8		416A 5B9F

Realizado por: María Márquez

Una vez analizados los dispositivos que se utilizarán en el proyecto se procede a realizar el montaje de los componentes como se detalla a continuación:

Para censar y transmitir parámetros de temperatura y humedad, se empezó con el montaje de los dispositivos nodos finales con sus respectivos sensores y la ubicación física correspondiente en el invernadero fue aproximadamente a 4 metros de separación entre nodos finales ubicados de forma simétrica, colocando el sensor de humedad de suelo a 40 cm bajo suelo aproximadamente y el sensor de temperatura y humedad ambiental a 2.90 m desde el suelo y el nodo coordinador (Gateway) que estaría aproximadamente a 14 metros de separación del nodo final 2, ya que este que tiene funciones de coordinador se encuentra ubicado en la planta baja de la vivienda junto al invernadero.

3.2 Montaje del Dispositivo Coordinador Xbee (ZC).

Para el montaje del dispositivo coordinador de la red Xbee 802.15.4 se procede a realizar lo siguiente y se observa en la figura 15-3.

- En la tarjeta Waspote Gateway USB se adhiere el módulo de comunicación XBee-PRO Serie 1 por medio de la unión de sus pines de conexión.
- Finalmente el Dispositivo coordinador queda listo al colocar y ajustar la antena (2,4GHz) en el módulo XBee-PRO Serie 1 y se posiciona la misma en sentido vertical.



Figura 15-3: Módulo XBee PRO S1 con Gateway y antena
Realizado por: María Márquez

En la figura a continuación se presenta la colocación de la Xbee PRO serie 1 ya montada en la placa que funcionará como Gateway.



Figura 16-3: Montaje del XBee Pro serie1 en el Gateway USB
Realizado por: María Márquez

En la figura 17-3 se puede observar como se realiza la colocación de la antena en la Xbee Pro serie 1.



Figura 17-3: Montaje de la antena en la XBee PRO serie 1
Realizado por: María Márquez

3.2.1 Montaje del Dispositivo Final y Sensor.

En la Figura 18-3 se observa el dispositivo nodo final 1 de la red Xbee 802.15.4 y el sensor y se procederá a detallar los pasos para realizar el montaje.

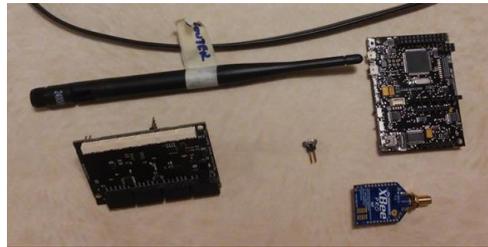


Figura 18-3: Elementos del Dispositivo final y sensor
Realizado por: María Márquez

En la tarjeta Wasmote se adhiere el módulo de comunicación XBee-PRO Serie 1 por medio de la unión de sus pines de conexión como se observa en la figura 19-3.



Figura 19-3 Colocación del XBee pro serie 1 en la Wasmote
Realizado por: María Márquez

Luego se añade la Wasmote agricultura V3.0 en la Wasmote (nodo final) mediante la conexión de sus pines analógicos, como se presenta en la figura 20-3.



Figura 20-3: Colocación de la Wasmote Agriculture
Realizado por: María Márquez

Por consiguiente se ubica el sensor de acuerdo al punto referencial en la tarjeta Wasmote agricultura V3.0, y de forma muy similar se le ubica el sensor de humedad, como se observa en la figura 21-3.

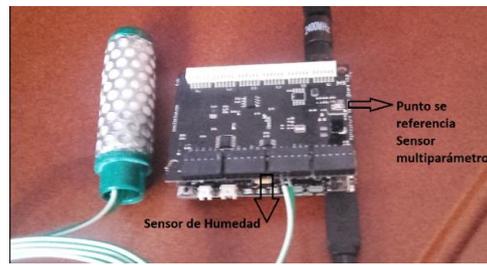


Figura 21-3: Colocación de los sensores en la Wasmote
Realizado por: María Márquez

Como siguiente paso se ubica y se ajusta la antena (2,4 GHz) en el módulo XBee-PRO Serie 1, y se posiciona en sentido vertical, como se muestra en la figura 22-3.



Figura 22-3: Colocación y ajuste de la antena (2,4GHZ)
Realizado por: María Márquez

El dispositivo final y los sensores quedan listos para trabajar al ubicar finalmente la batería en la Wasmote (nodo final) como se muestra en la figura 23-3:

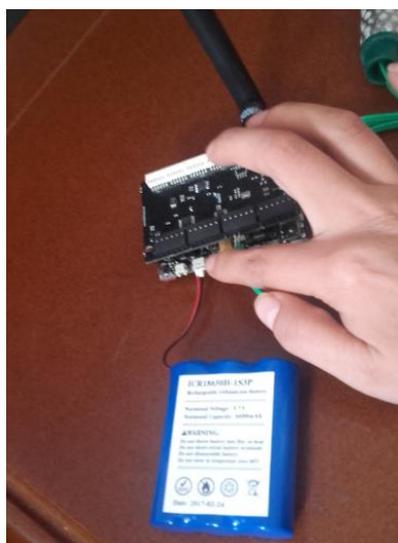


Figura 23-3: Ubicación de la batería en la Wasmote
Realizado por: María Márquez

3.3 Configuración de los módulos que actuarán como nodos finales y el coordinador.

Para configurar los módulos tanto como coordinadores y nodos finales se utiliza un software denominado X-CTU, hay que descargar la actualización de los firmware de los módulos XBee utilizados en el prototipo a continuación se observa la figura 24-3 pantalla de la presentación de XCTU.

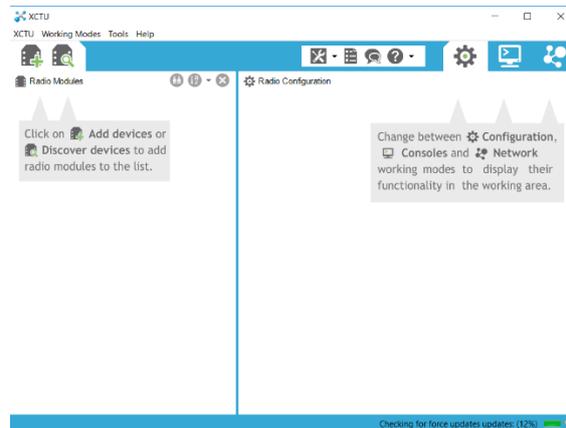


Figura 24-3: Pantalla principal de X-CTU
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla del software

Se debe configurar los parámetros de la comunicación como son:

- ✓ Baud Rate: la velocidad a la cual se va a comunicar.
- ✓ Flow Control: Si se va establecer un control de flujo ya sea por Hardware, software o ninguno.
- ✓ Parity: Si se quiere poner un bit de paridad.
- ✓ Stop Bit: si se quiere un bit de parada.

La velocidad del puerto serial en el momento de configurar permite escoger un rango desde 1200 a 921600 Bauds, para el proyecto se trabajó con velocidad de 9600 Bauds, 8 bits de datos, 1 bit de parada, sin bit de paridad, 1 bit de inicio.

La trama de datos seria:

Paquete de datos = Bit de inicio+8 bits de datos + 1 bit de parada

Es decir, que ésta configuración envía 10 bits para cada 8 que se quieran transmitir. Si la velocidad es 9600 bits/s, da como resultado una tasa real de 960 Bytes por segundo, dado que cada byte tiene agregados dos bits por parte del protocolo serial. Es decir, que a cada bit le

toma 1/9600 s transmitirse para cada flanco de subida del generador de BAUD, que equivale a 104.167 uS.

En la figura 25-3 se muestra la pantalla del Software Digi X-CTU donde se puede escoger el puerto COM que se está utilizando para el coordinador y los dispositivos finales, además la configuración de los parámetros de comunicación mencionados. Para ello se debe conectar Xbee PRO S1 y el adaptador Xbee serial usb.

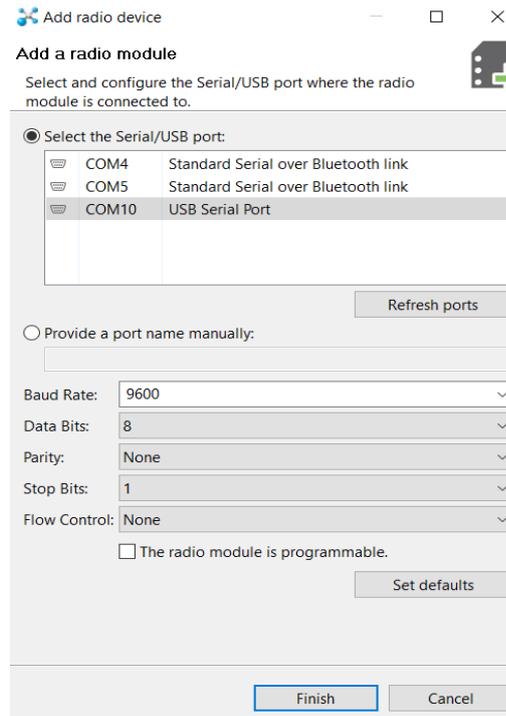


Figura 25-3: Pantalla para escoger el puerto COM
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla del software

Luego configurar canal, PAN ID, DL, MY, CE, como se observa en la figura 26-3.

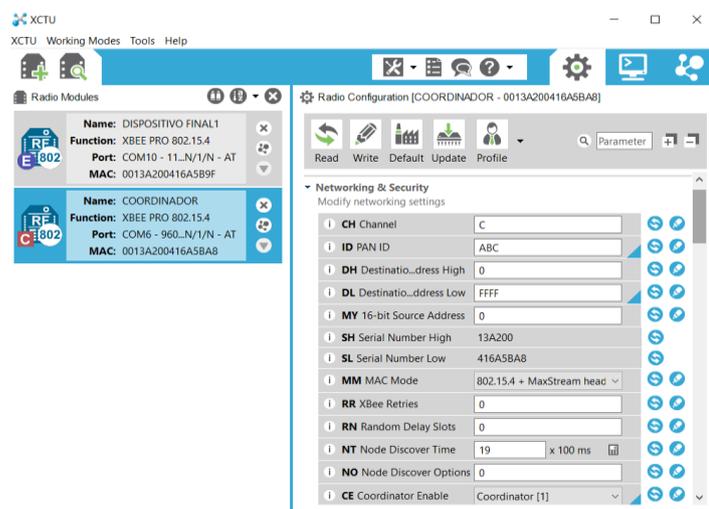


Figura 26-3: Configuración del Coordinador en X-CTU
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla

Configurar el Xbee que se utilizará como coordinador los parámetros a cambiar serán los siguientes:

ID, DL, MY, y CE.

El CE me permite habilitar al xbee como coordinador o dispositivo final.

En la figura 27-3 se visualiza los parámetros en rojo a configurar.

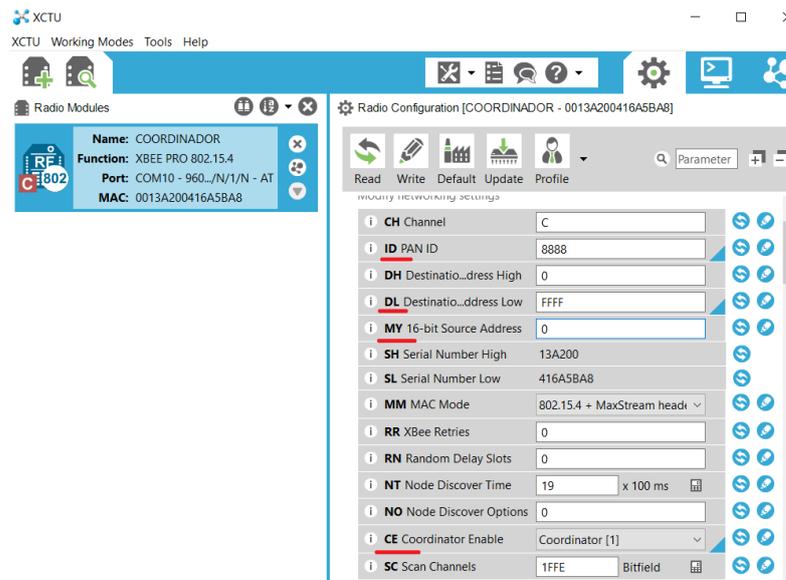


Figura 27-3: Configuración para el transmisor xbee S1
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla

Una vez concluido los pasos de configuración se presiona Write para que los valores sean guardados y escritos en la Xbee.

Al concluir, se desconecta el xbee s1 del adaptador xbee serial usb, de igual foma se configura los dispositivos finales con los cambios en los parámetros DL, MY Y CE, como se puede observa en la figura 28-3.

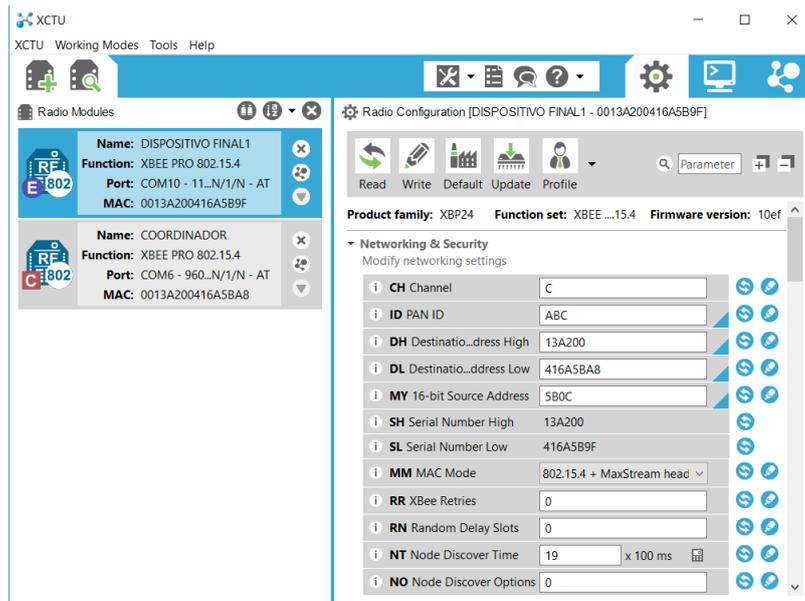


Figura 28-3: Configuración del dispositivo final1
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla del software

En la figura 29-3 de la captura de pantalla se presenta la prueba de comunicación que se realizó entre el Coordinador y el Dispositivo final1.

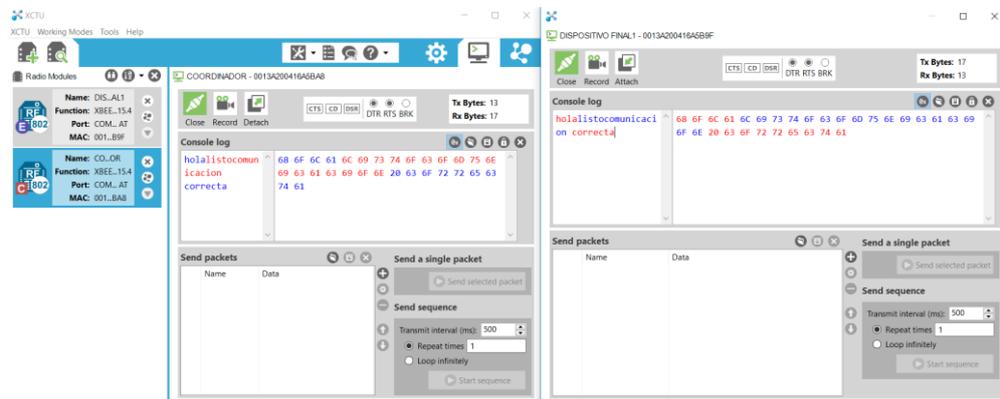


Figura 29-3: Prueba de comunicación Coordinador -Dispositivo final1
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla

Para la configuración del dispositivo final 2 se desconectó el Xbee S1 nombrado como dispositivo final1 y se procedió a cambiar los parámetros, y se presenta la captura de pantalla en la figura 30-3.

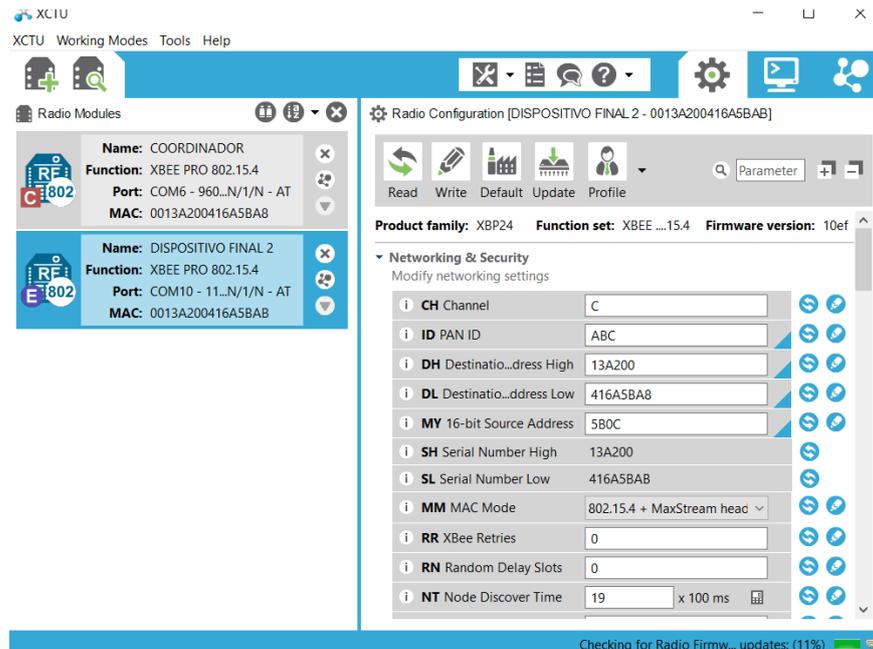


Figura 30-3: Configuración Dispositivo final2
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla del software

En la pantalla principal del X-CTU se puede visualizar los dispositivos conectados en este caso Coordinador y dispositivo final 2 como se puede observar en la figura 31-3 de la captura de pantalla.

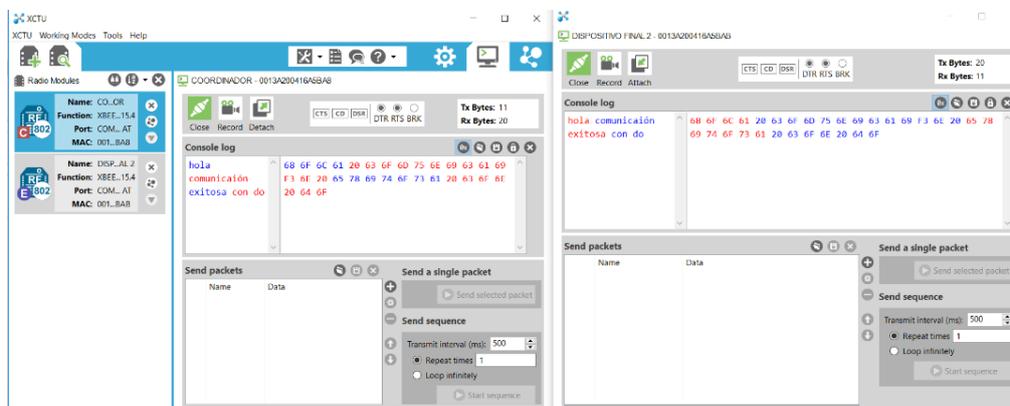


Figura 31-3: Prueba de comunicación Coordinador -Dispositivo final2
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla del software

En la tabla 4-3 se indica un resumen de los parámetros que se utilizaron para realizar la configuración de los dispositivos Xbee serie 1 utilizados en el proyecto que trabajan específicamente con el estándar propuesto 802.15.4.

Tabla 4-3: Tabla de parámetros configurados en los dispositivos

XBee A	PARÁMETRO CONFIGURADO	XBee B	PARÁMETRO CONFIGURADO	XBee C	PARÁMETRO CONFIGURADO
DH	0	DH	13A200	DH	13A200
DL	FFFF	DL	416A5BA8	DL	416A5BA8
MY	0	MY	5B0C	MY	5B0C
PAN ID	ABC	PAN ID	ABC	PAN ID	ABC
SH	0013A200	SH	0013A200	SH	0013A200
SL	416A5BA8	SL	416A 5BAB	SL	416A 5B9F
CE	(COORDINADOR)	CE	(DISPOSITIVO FINAL)	CE	(DISPOSITIVO FINAL)

Realizado por: María Márquez

Para trabajar con los nodos finales en el software se conectan los otros módulos Xbee se selecciona buscar y se mostrará la figura 32-3 captura pantalla del software.

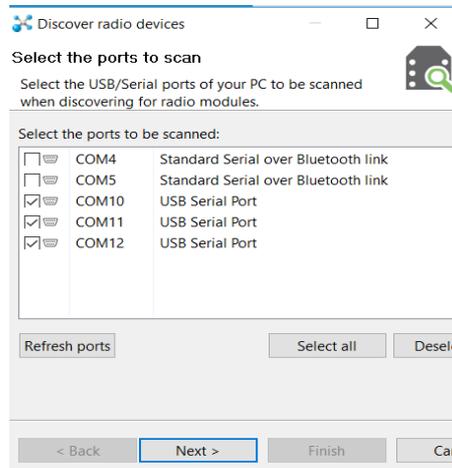


Figura 32-3: Seleccionar puerto COM de los Xbee
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla del software

Se solicita escoger los puertos COM que están conectados los diferentes módulos, una vez que se seleccionen los COM presionar siguiente y se visualizará la pantalla para seleccionar los parámetros de configuración una vez configurados como se muestra en la figura 33-3 presionar finalizar.

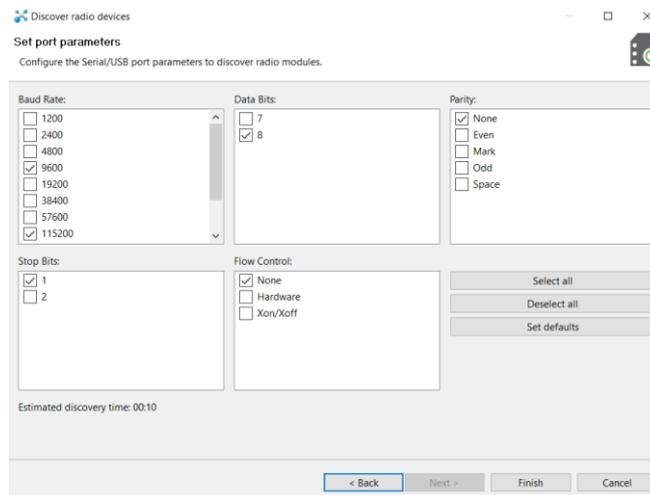


Figura 33-3: Configuración de parámetros de los Dispositivos finales
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla del software

3.4 Programación de los Wasmotes.

Para realizar a programación de las Wasmotes se utiliza el software denominado Wasmote PRO IDE, ya que permite programar la comunicación de la Wasmote se pueda acceder a la información de las medidas tomadas desde el invernadero por los sensores que se utilizan para analizar las variables propuestas, adicional éstos nodos envían una serie de mensajes periódicamente o cada vez que ocurre un evento, estos se pueden representar en tres tipos:

- Keepalive. (De tipo Node o tipo Link)
- Estado de enlace
- Alarma

3.4.1 Mensaje *Keepalive*.

Estos mensajes tipo Nodo son los que se están utilizando en el proyecto ya que permiten visualizar la siguiente información:

- Informar al nodo receptor que el funcionamiento es el adecuado. Este tipo de mensaje es enviado cada 30 segundos) desde los Wasmotes hacia el Gateway.
- Seleccionar un camino u otro para entregar los datos al Gateway mediante el algoritmo de encaminamiento
- Monitorizar el ciclo de trabajo si está limitado. Los valores que nos entregan los sensores adicional la temperatura medida por el sensor del RTC, el Nivel de Batería del Wasmote y el Duty Cycle consumido por el xBee. Esto simplemente permitirá visualizar el potencial que ofrece la tecnología.

##	Fecha - Hora	KEEPALIVE	NA Origen	NA Destino	Temperatura	Batería	Duty Cycle	Nº Saltos	####
##	Friday, 15/04/12 - 12:42.56	KEEPALIVE	0042	0000	29,78	15	2	####	####

Figura 34-3: Mensaje tipo Keepalive (formato y ejemplo)

Fuente: Cano Moreno, 2012, Red de sensores inalámbricos para el Canal del Bajo Guadalquivir

El mensaje de Keepalive de tipo Node está compuesto por los siguientes campos como se observa en el ejemplo de la figura 34-3 y son descritos a continuación:

Delimitador de inicio de trama ‘##’: Se usa en el programa de monitorización Waspmonitor para extraer el mensaje. (Cano Moreno, 2012)

- Fecha – Hora: Muestran la fecha y la hora en que se envía el mensaje.
- Tipo de mensaje: En este caso, será KEEPALIVE.
- Dirección de red de origen.
- Dirección de red de destino: En este proyecto siempre es 0000, puesto que todos los mensajes van al coordinador
- Temperatura: Muestra la temperatura en grados centígrados que tiene la placa del Waspnote (medida por el sensor de temperatura del RTC).
- Batería: Nivel de batería restante (en %) que le queda al Waspnote.
- Duty Cycle: Porcentaje del Duty Cycle total, medido sobre una hora que ha utilizado el xBee 802.14.5 transmitiendo datos.
- Número de saltos: Número de saltos que da el paquete desde el Origen hasta el Nodo Coordinador (0000).
- Delimitador de fin de trama ‘####’: Al igual que el de inicio, se usa por Waspmonitor para extraer el mensaje.

Por otra parte, los mensajes de Keepalive tipo Link:

- Informan a los nodos adyacentes mediante mensajes broadcast emitidos cada 5 minutos de que el nodo sigue vivo y por tanto, el enlace (link) que los une también.
- Se emiten en intervalos muy grandes para evitar gasto inútil de duty cycle.
- Garantizar que siempre se elija la ruta óptima.
- No transportan ninguna información de monitorización y por tanto no se pasan al Gateway por parte del nodo coordinador.

Estructura del tipo de mensaje Link se presenta en la figura 35-3.

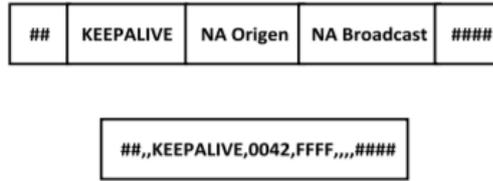


Figura 35-3: Formato de mensajes tipo Link

Fuente: Cano Moreno, 2012, Red de sensores inalámbricos para el Canal del Bajo Guadalquivir

3.4.1.1 Direccionamiento.

Debido a que se cuenta con un número limitado de nodos, en emplazamientos fijos, con expectativas limitadas de crecimiento y puesto que no existe más que una red, se ha optado por la elección de un direccionamiento plano.

Las opciones que ofrece el protocolo de RF de Digi para el direccionamiento son básicamente tres:

- Dirección MAC.
- Identificador de nodo (NI).
- Identificador de red (NA).

En el proyecto se usa las direcciones MAC es una opción válida ya que sólo se cuenta con una red, de la misma tecnología y con un número limitado de unidades.

Por tanto, lo que se ha hecho es:

- Usar las direcciones MAC para el nivel de enlace.
- Con la excepción del nodo coordinador, que se denota con '0000', por ser un nodo "especial" donde se recogen los datos de todo el canal.

En el proyecto se propone únicamente el caso de transmitir información al coordinador y por tanto la dirección de destino es "0013A200416A5BA8".

3.5 Programación de los nodos.

En la figura 36-3 se presenta una captura de pantalla del código simplificado que permite la comunicación de la red y adicional permitirá obtener los datos de los sensores que serán utilizados para el desarrollo del control mediante lógica difusa.

```
sketch_mar05a | Waspnote Waspnote PRO IDE
File Edit Sketch Tools Help
sketch_mar05a $
#include <WaspXBee802.h>
#include <WaspSensorAgr_v30.h>
#include <WaspFrame.h>

// cada variable sera utilizada por la tarjeta de agricultura para las variables del clima
float temp; // Stores the temperature in ?C
float humd; // Stores the realitve humidity in %RH
float pres; // Stores the pressure in Pa
// Direccion MAC destino, en este caso es del Coordinador
char RX_ADDRESS[] = "0013A200416A5BA8";
// Identificador del Nodo
char NODE_ID[] = "Nodo Final";
//declaracion de variable error
uint8_t error;
uint8_t error2;

void setup()
{
  // 0. Inicializar el puerto USB para depurar
  USB.ON();
  USB.println(F("Ejemplo de recibir paquetes")); // anadido para recibir paquetes
  USB.println(F("Tarjeta Nodo Final"));
  Agriculture.ON();
  //Carga el identificador del nodo de maximo 16 Bits
  frame.setID(NODE_ID);
  //Crear un nuevo FRAME
  frame.createFrame(ASCII);
  // Carga los campos del FRAME (String - char*)
  frame.addSensor(SENSOR_STR, (char*) "AGR Sensores");
  //Imprime el Frame
  frame.showFrame();
}
```

Figura 36-3: Pantalla capturada de una parte de la programación de las Waspnotes
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla software IDE-PRO de la Waspnote

En Anexos se presentará el código de programación en los dispositivos.

3.6 Limitaciones y Alcances de la red de sensores implementada.

Las limitaciones y alcance de la red dependen de las características de los equipos que se han utilizado en el proyecto, por ser un proyecto de extensiones pequeñas se ha posicionado los nodos de forma simétrica de manera que permita cubrir el área del invernadero que se encuentra cultivado, para tener una correcta captura de datos.

El nodo coordinador funcionará como Gateway, este se ha posicionado junto a la vivienda que está a lado del invernadero.

En cuanto al resto de nodos se colocaron como se escribe a continuación:

Distancia entre dispositivos finales 4 metros.

Distancia entre dispositivo final1 y coordinador 10m.

Distancia entre dispositivo final 2 y coordinador 14m.

Profundidad del sensor de humedad 0.40cm.

Posición del sensor de temperatura 2.5m con referencia al suelo.

No se presentó pérdida de información por distancias entre nodos y la red funcionó sin ninguna dificultad, y envió de forma adecuada la captura de datos de los sensores.

En la tabla 5-3 se presenta el cuadro de referencia de datos que se consideran importantes ya que son las características de los módulos que permiten la comunicación y que son datos que se han considerado para la aplicación de algunos cálculos.

Tabla 5-3: Características de Potencia, ganancia y alcance de los dispositivos

Rango interior /urbano	90m y hasta 60 m la variante internacional
Rango de visibilidad directa en línea de RF outdoor Los	750 m y en la variante internacional 1600m
Sensibilidad del receptor	100dBm (con una tasa de error de 1%)
Antena dipolo de	5dbi
Potencia de transmisión	100mW (18dBm)
Icc (TX) operating	215mA
Icc (RX) operating	55mA
Icc Stand By	10uA

Fuente: (DIGI INTERNATIONAL, 2017)

Con respecto a la antena.- Se utiliza una antena de dipolo enfundado, ya que son de las antenas más robustas debido a que están encapsuladas en un plástico redondo y mantienen un patrón de radiación omnidireccional, poseen una ganancia de 5dbi y su conector es RPSMA macho.

Teniendo como base el principio de Huygens se puede calcular la primera zona de Fresnel, que será el espacio alrededor del eje que contribuye a la transferencia de potencia desde la fuente hacia el receptor. (Buettrich, Sebastian, 2007)

Zona de Fresnel.- permite establecer los valores de las distancias óptimas para el enlace de los nodos de la red inalámbrica, ya que es importante establecer la altura de los nodos para evitar pérdidas por objetos presentes dentro del terreno. Esta zona define el lóbulo de cobertura de las antenas que ha de estar libre de obstáculos para que se realice la comunicación entre dos puntos sin ninguna interferencia.

En la figura 37-3 se aprecia de manera sencilla la definición de este concepto, donde se observa la llegada de la señal al receptor por dos vías diferentes, causando interferencias o datos duplicados o erróneos (reflexión).

En el proyecto no existen problemas de visión directa (Line of Sight, LOS) ya que al ser un invernadero se exenta de árboles u otros objetos que pudieran interferir no existe preocupación, sin embargo se tiene dificultad con la reflexión del terreno. Dicha situación me permite calcular el radio r en la figura para dejar fuera de obstáculos la señal.

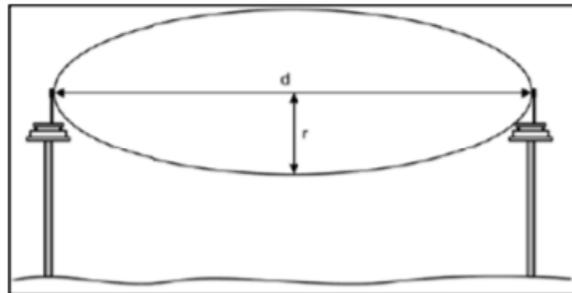


Figura 37-3: Zona de Fresnel

Fuente: R Martínez, “Análisis y diseño de una red inalámbrica para un proyecto agrario”

La fase mínima se produce para el rayo que une en línea recta emisor y receptor. La primera zona de Fresnel se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{d}{4*f}} \quad (9)$$

Ecuación 1-3: Primera zona de Fresnel

Donde,

r : radio óptimo {m}

d : distancia entre dos nodos {km}

f : Frecuencia de la señal {GHZ}

El radio óptimo es igual= 0.60 m ubicación del trasmisor

En la figura 38-3 se observa la ubicación de los nodos de transmisión con línea de vista hacia el receptor sin obstáculo alguno.

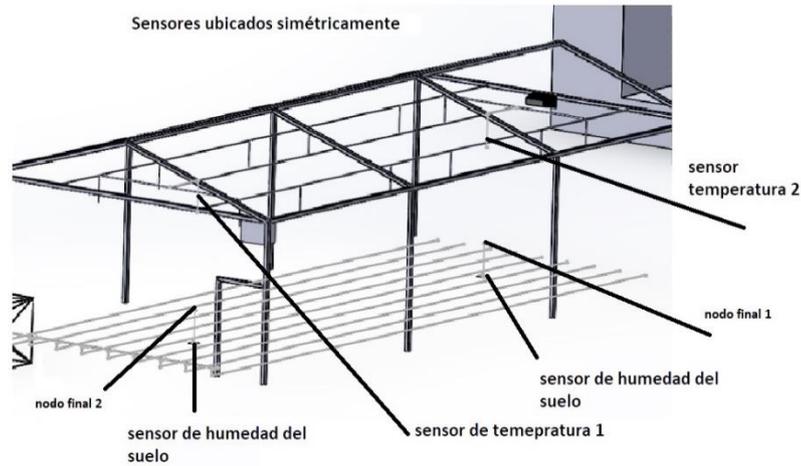


Figura 38-3: Nodos finales colocados en el invernadero
Realizado por: María Márquez

3.7 Desarrollo Del Control Mediante lógica Difusa Utilizando El Método De Takagi-Sugeno.

Una vez realizado un análisis de la producción de las plantaciones de fréjol de la zona, se detalla las prestaciones computacionales del hardware que se requerirá para implementar el control de lógica difusa.

Por lo analizado en el capítulo de revisión bibliográfica, el controlador difuso tiene la característica de que no requiere del modelado matemático del sistema para ejecutar el control que se va a establecer.

Previo al desarrollo del controlador, se definió también el software de apoyo para la ejecución del controlador que en éste caso es la plataforma LabView.

Una vez seleccionado las herramientas de hardware y software se procedió con la selección del tipo de controlador en función de las variables seleccionadas para el control y la variable de salida, en éste caso se seleccionaron dos variables de medición real y una variable virtual que describe el comportamiento del sistema la misma que más adelante será detallada, en cuanto a la salida se estableció una salida para el control del sistema que en éste caso representa el clima del invernadero, de tal forma que el controlador es del tipo MISO, de varias entradas y una sola salida.

3.7.1 Descripción de las variables.

Como parámetro inicial se procede con la selección de las variables en función del análisis de la producción de las sembradíos de fréjol, donde se concluye que las variables más influyentes en

la obtención y rendimiento de las plantaciones de fréjol y que están presentes en la investigación son la variable temperatura y la variable humedad relativa donde luego de analizar el comportamiento de un sistema real de medición de estas dos variables, se hizo necesario utilizar una variable computacional con el nombre de comportamiento del sistema.

3.7.1.1 Variable Humedad. Ésta variable se la mide de dos maneras, partiendo de la humedad ambiental y de la humedad del suelo, en base a las dos motas establecidas como nodos de la red para la recolección de datos que alimentarán al controlador difuso. Dichas motas han sido establecidas de forma estratégica dentro de la plantación de forma simétrica donde se puede establecer una lectura muy uniforme de todo el sistema realizando un promedio de las dos medidas tanto del suelo como del ambiente.

3.7.1.2 Variable Temperatura. En cuanto a la variable temperatura, al realizar el análisis en conjunto con la variable humedad se establece una ubicación estratégica de la mota que permite la recolección de los datos de la variable, permitiendo obtener una temperatura uniforme medida en todo el sistema.

Las variables anteriormente descritas permiten realizar una descripción del sistema de tal forma que los valores medidos a lo largo del invernadero son muy aproximados en todos los puntos donde se realizaron mediciones, permitiendo tener un sistema de actuación uniforme donde cualquier cambio que ocurra dentro del sistema podrá ser medido por las motas de recolección de datos.

3.7.1.3 Variable Comportamiento del Sistema. La variable computacional comportamiento del sistema, se construye en base a una de las propiedades de la termodinámica, donde todo sistema que es sometido a una fuente de calor o frío tiende a seguir una curva de actuación aunque la fuente de calor o de enfriamiento haya sido retirada del sistema, dicho sistema seguirá en calentamiento o enfriamiento debido a su resistencia térmica.

De tal forma que en la presente investigación se introdujo la variable comportamiento del sistema donde se puede describir el comportamiento en la parte positiva o negativa del criterio de evaluación o simplemente el sistema ha mantenido un comportamiento dentro de los requerimientos establecidos.

3.7.2 Desarrollo del controlador Difuso.

En cuanto al controlador difuso se establecen los tres parámetros fundamentales, que son la fusificación del sistema estableciendo las funciones de pertenencia, luego desarrollando las reglas difusas que debe seguir el sistema en base a las funciones de pertenencia establecidas previamente, y luego la defusificación del sistema que permitirá establecer una salida de

actuación del mismo en base al establecimiento de consecuentes de las reglas difusas establecidas.

3.7.3 Fusificación del sistema.

3.7.3.1 Establecimiento de las funciones de pertenencia. Para el establecimiento de las funciones de pertenencia, se parte del precepto que el algoritmo de lógica difusa propuesto, se lo codificará para un sistema embebido, de tal forma que las funciones de pertenencia utilizadas se establece en funciones triangulares y trapezoidales, detalladas a continuación.

3.7.3.1.1 Temperatura. Para establecer la función de pertenencia de temperatura, se toma como estrategia el valor del error de dicha variable, es decir; se toma el valor esperado o también conocido como “Set Point” de temperatura y se realiza la diferencia entre dicho valor y el valor medido. En base a la experiencia de medición realizada y en base al valor deseado, se estableció el rango de acción que va a tener la variable de temperatura que en éste caso será de +/-38.5 grados.

Dicho esto, se establecen cinco rangos de pertenencia para la temperatura, partiendo de izquierda a derecha con: Muy Frío, Frío, Normal, Caliente y Muy caliente, iniciando con una función trapezoidal solo para los rangos de Muy frío y Muy caliente, los demás rangos se establecen con funciones triangulares como se observa en la figura 39-3.

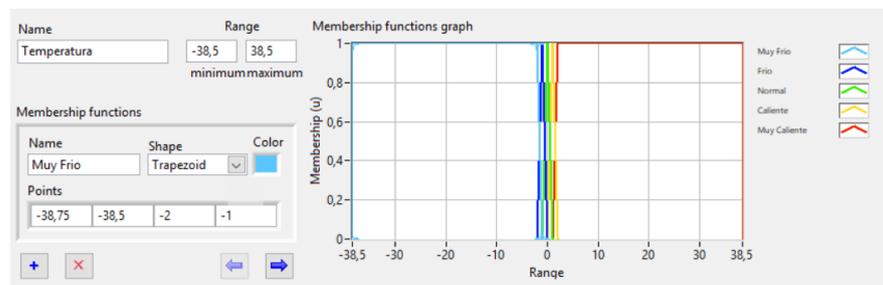


Figura 39-3: Rangos de pertenencia de la Temperatura
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla software Lavbiew

Los valores que comprenden las variables de Muy caliente y Muy frío, Frío y caliente son simétricos tal como se detalla a continuación:

Muy Frío:

$$F(x_1) = \begin{cases} x_1; & -38.75 \leq x_1 \leq -38.5 \\ 1; & -38.5 \leq x_1 \leq -2 \\ -x_1; & -2 \leq x_1 \leq -1 \end{cases}$$

Ecuación 2-3: Función, indica sistema muy frío

Muy Caliente:

$$F(x_2) = \left\langle \begin{array}{l} x_2; 1 \leq x_2 \leq 2 \\ 1; 2 \leq x_2 \leq 38.5 \\ -x_2; 38.5 \leq x_2 \leq 38.75 \end{array} \right\rangle$$

Ecuación 3-3: Función, indica sistema muy caliente

Frío:

$$F(x_3) = \left\langle \begin{array}{l} x_3; -2 \leq x_3 \leq -1 \\ -x_3; -1 \leq x_3 \leq 0 \end{array} \right\rangle$$

Ecuación 4-3: Función, indica sistema frío

Caliente:

$$F(x_4) = \left\langle \begin{array}{l} x_4; 0 \leq x_4 \leq 1 \\ -x_4; 1 \leq x_4 \leq 2 \end{array} \right\rangle$$

Ecuación 5-3: Función, indica sistema caliente

Normal:

$$F(x_5) = \left\langle \begin{array}{l} x_5; -1 \leq x_5 \leq 0 \\ -x_5; 0 \leq x_5 \leq 1 \end{array} \right\rangle$$

Ecuación 6-3: Función, indica sistema normal

3.7.3.1.2 *Humedad*. Para establecer la función de pertenencia de humedad, se toma como estrategia el valor del error de dicha variable, es decir; se toma el valor esperado o también conocido como “Set Point” de humedad y se realiza la diferencia entre dicho valor y el valor medido. En base a la medida que se realiza de forma convencional de la humedad se establece un rango de -1 a 1 que representa el porcentaje discretizado de la humedad.

Dicho esto, se establecen tres rangos de pertenencia para la humedad, partiendo de izquierda a derecha con: Seco, Normal y Húmedo, iniciando con una función trapezoidal solo para los rangos de seco y húmedo, el rango de normal se establece con una función triangular como se observa en la figura 40-3.

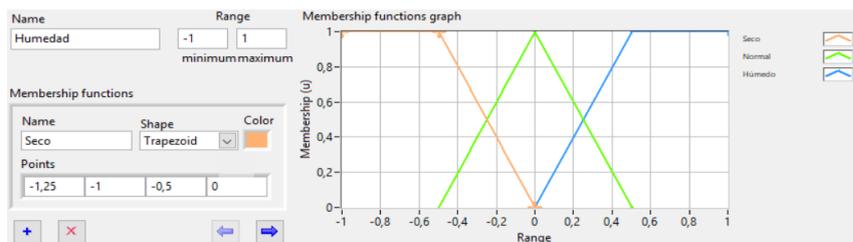


Figura 40-3: Rangos de pertenencia de la Humedad
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla del software Labview

Los valores que comprenden las variables de Húmedo y Seco son simétricos tal como se detalla a continuación:

Húmedo:

$$F(x_1) = \begin{cases} x_1; & -1.25 \leq x_1 \leq -1. \\ 1; & -1 \leq x_1 \leq -0.5 \\ -x_1; & -0.5 \leq x_1 \leq 0 \end{cases}$$

Ecuación 7-3: Función, indica sistema húmedo

Seco:

$$F(x_2) = \begin{cases} x_2; & 0 \leq x_2 \leq 0.5 \\ 1; & 0.5 \leq x_2 \leq 1 \\ -x_2; & 1 \leq x_2 \leq 1.25 \end{cases}$$

Ecuación 8-3: Función, indica sistema seco

Normal:

$$F(x_3) = \begin{cases} x_3; & -0.5 \leq x_3 \leq 0 \\ -x_3; & 0 \leq x_3 \leq 0.5 \end{cases}$$

Ecuación 9-3: Función, indica sistema normal variable humedad

3.7.3.1.3 Comportamiento del Sistema. Una vez establecidas las funciones de pertenencia del sistema, se observa en el comportamiento real una conjugación o estrecha relación de las dos variables anteriormente detalladas, es decir que tienen una afectación de la una con la otra de forma directa, es por eso que se integra una variable computacional adicional con el nombre de comportamiento del sistema, estableciendo tres funciones de pertenencia difusas tales como:

Calentando, Se mantiene y Enfriando, el rango de actuación de ésta función va de -1 a 1 como porcentaje discretizado, los valores de dicha función se establecen con el promedio de 5 valores históricos instantáneos, es decir; cinco muestras de la variable temperatura en un intervalo de tiempo de 500 milisegundos, acorde con las lecturas enviadas por las motas, éste rango se lo extendió a 5 segundos donde se pudieron obtener cinco valores históricos para encontrar la relación del comportamiento del sistema con las funciones de pertenencia y se puede observar en la figura 41-3.

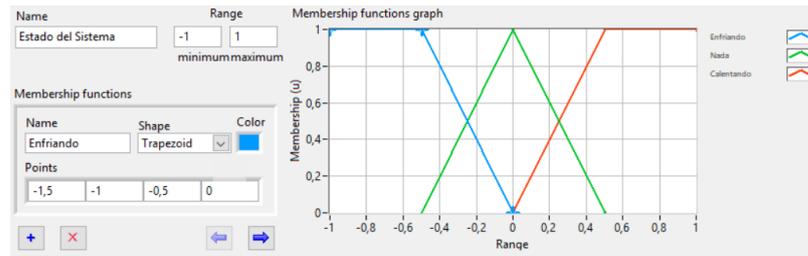


Figura 41-3: Rangos de comportamiento de las variables del sistema
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla software Labview

Los valores que comprenden las variables de Enfriando y Calentando son simétricos tal como se detalla a continuación:

Enfriando:

$$F(x_1) = \langle \begin{array}{l} x_1; -1.25 \leq x_1 \leq -1. \\ 1; -1 \leq x_1 \leq -0.5 \\ -x_1; -0.5 \leq x_1 \leq 0 \end{array} \rangle$$

Ecuación 10-3: Función, indica sistema enfriando

Calentando:

$$F(x_2) = \langle \begin{array}{l} x_2; 0 \leq x_2 \leq 0.5 \\ 1; 0.5 \leq x_2 \leq 1 \\ -x_2; 1 \leq x_2 \leq 1.25 \end{array} \rangle$$

Ecuación 11-3: Función, indica sistema calentando

Se mantiene:

$$F(x_3) = \langle \begin{array}{l} x_3; -0.5 \leq x_3 \leq 0 \\ -x_3; 0 \leq x_3 \leq 0.5 \end{array} \rangle$$

Ecuación 12-3: Función, indica sistema se mantiene

Un detalle adicional a resaltar es que; luego de definir las funciones de pertenencia sobre todo las trapezoidales en todas las variables, sobrepasan el rango establecido con un valor pequeño, éste sobre pasamiento se da, debido al rango trapezoidal de inicio de cada función, que se le obliga al sistema a tomar un valor distinto de cero en el inicio o final de la función trapezoidal.

3.7.3.2 Establecimiento de las reglas difusas del sistema, para obtener el comportamiento deseado. Una vez realizada la etapa de fusificación, que consistía en establecer las funciones de pertenencia, ahora se debe establecer las reglas que van a regir el comportamiento del controlador, en base a las entradas para obtener un consecuente de salida que luego será defusificado para poder adoptar un valor de funcionamiento real.

El establecimiento de reglas difusas se las realiza en base a la experiencia de toma de decisiones reales, del cómo se quiere tener un comportamiento ideal del sistema. De tal forma que, en base a las tres variables de entrada del sistema se pueden obtener 45 reglas difusas con un consecuente de salida.

3.7.3.2.1 *Establecimiento del Consecuente de Salida.* Para establecer el consecuente de salida, se crea una función donde se establece cinco funciones de pertenencia, tales como, Muy creciente, Creciente, Normal, Decreciente y Muy decreciente, éstos parámetros se los establece en base a varios factores, uno de ellos es a la velocidad con la que se quiere que el sistema reaccione, otro factor es la precisión que debe tener el controlador al momento de actuar teniendo como base las decisiones programadas como reglas difusas.

El rango de funcionamiento de la salida se lo establece como en un controlador continuo en el intervalo de -100% a 100%, el cual determina que la parte negativa se la establece como salida de enfriamiento o humidificación del sistema y la parte positiva de calentamiento o disminución de la humedad del sistema, lo que permitió tener el equilibrio deseado dentro del invernadero, el rango establecido se puede observar en la figura 42-3.

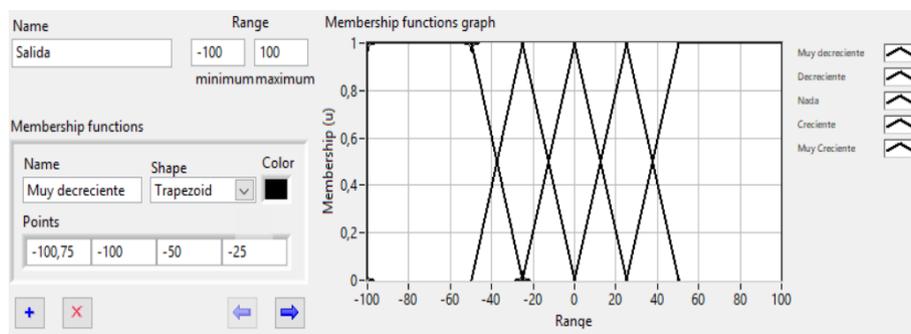


Figura 42-3: Rango de funcionamiento de la salida
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla software Labview

En cuanto las funciones que se establecieron de salida se tiene que para los rangos de Muy decreciente y Muy creciente, Decreciente y Creciente son simétricos tal como se detalla a continuación:

Muy Decreciente:

$$F(x_1) = \begin{cases} x_1; & -100.75 \leq x_1 \leq -100 \\ 1; & -100 \leq x_1 \leq -50 \\ -x_1; & -50 \leq x_1 \leq -25 \end{cases}$$

Ecuación 13-3: Función, indica sistema Muy decreciente

Muy Creciente:

$$F(x_2) = \left\langle \begin{array}{l} x_2; 25 \leq x_2 \leq 50 \\ 1; 50 \leq x_2 \leq 100 \\ -x_2; 100 \leq x_2 \leq 100.75 \end{array} \right\rangle$$

Ecuación 14-3: Función, indica sistema Muy creciente

Decreciente:

$$F(x_3) = \left\langle \begin{array}{l} x_3; -50 \leq x_3 \leq -25 \\ -x_3; -25 \leq x_3 \leq 0 \end{array} \right\rangle$$

Ecuación 15-3: Función, indica sistema decreciente

Creciente:

$$F(x_4) = \left\langle \begin{array}{l} x_4; 0 \leq x_4 \leq 25 \\ -x_4; 25 \leq x_4 \leq 50 \end{array} \right\rangle$$

Ecuación 16-3: Función, indica sistema creciente

Normal:

$$F(x_5) = \left\langle \begin{array}{l} x_5; -25 \leq x_5 \leq 0 \\ -x_5; 0 \leq x_5 \leq 25 \end{array} \right\rangle$$

Ecuación 17-3: Función, indica sistema salida normal

3.7.3.2.2 *Reglas Difusas.* Una vez establecido las funciones de pertenencia para la función de salida del sistema difuso se establecen las 45 reglas difusas con su consecuente, a continuación se detallan algunas:

En base a la experiencia de querer una salida ideal se tiene un análisis combinatorio de las entradas tal como se describe a continuación:

Si la temperatura es Muy Fría El estado del sistema es Enfriando y la Humedad se establece como seco, entonces la salida toma un valor consecuente de Muy Creciente.

Tal como se pudo observar en la descripción anterior, las combinaciones de las variables de entrada permiten establecer un consecuente adecuado a la experiencia de un sistema que se ajuste a la respuesta que se desea obtener y se observa en la figura 43-3.

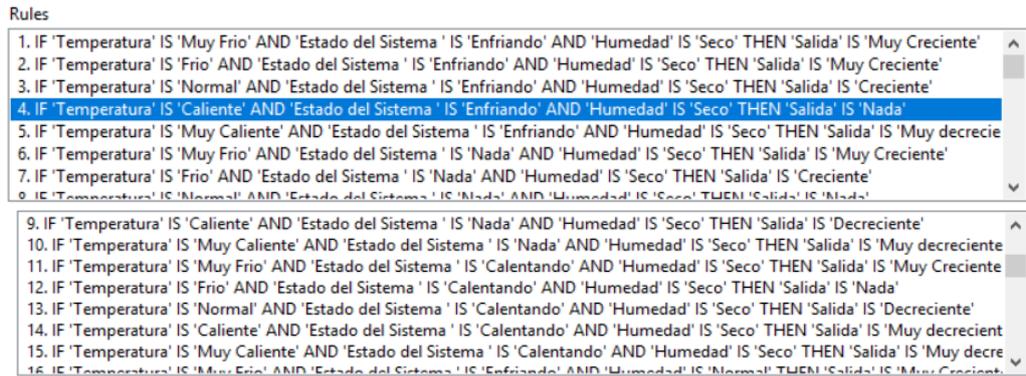


Figura 43-3: Reglas establecidas para el sistema

Realizado por: María Márquez, captura de pantalla del software Labview

Una vez establecidas las reglas posibles y/o necesarias del sistema, se realiza la defusificación por el método del centro de gravedad, el mismo que se torna sencillo al utilizar funciones del tipo lineal, el centro de gravedad a calcular de una figura polinomial, es la que se genera en la salida luego de evaluar las entradas con el controlador difuso, una vez encontrado el valor del centro de gravedad de la figura se procede con el análisis de pertenencia en el rango de valores de -100 a 100% que tomará la salida del controlador.

3.7.3.2.3 *Evaluación del controlador difuso.* Una vez establecido el sistema difuso, se puede analizar el comportamiento que va a tener de acuerdo a las reglas difusas que se han establecido como las entradas del sistema, la prueba del sistema se la realiza ingresando valores en las entradas tal como se calcula en base al error que se requiere disminuir de acuerdo al Set Point requerido tal como se aprecia en la figura a continuación.

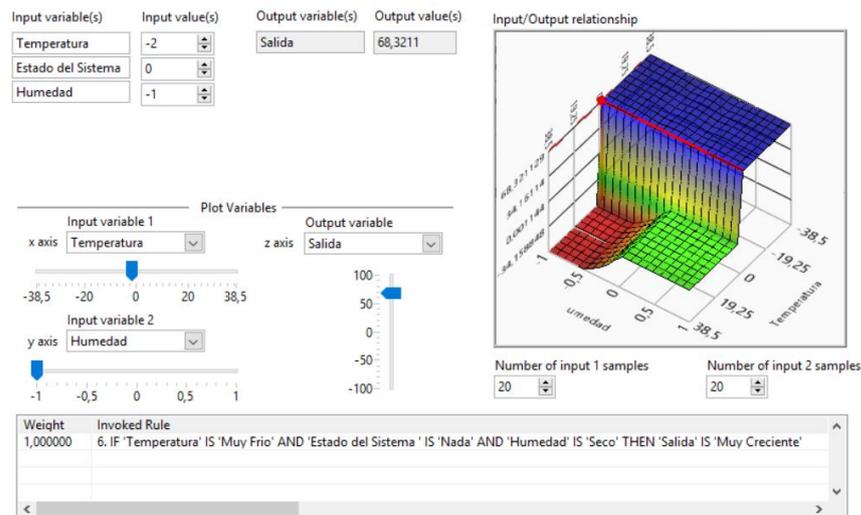


Figura 44-3: Comportamiento de las reglas difusas entrada/salida del sistema

Realizado por: María Márquez, captura de pantalla

Las figuras obtenidas de las variables de entrada versus la salida, se la puede analizar en un escalamiento tridimensional. Tal como se ve en la figura 45-3.

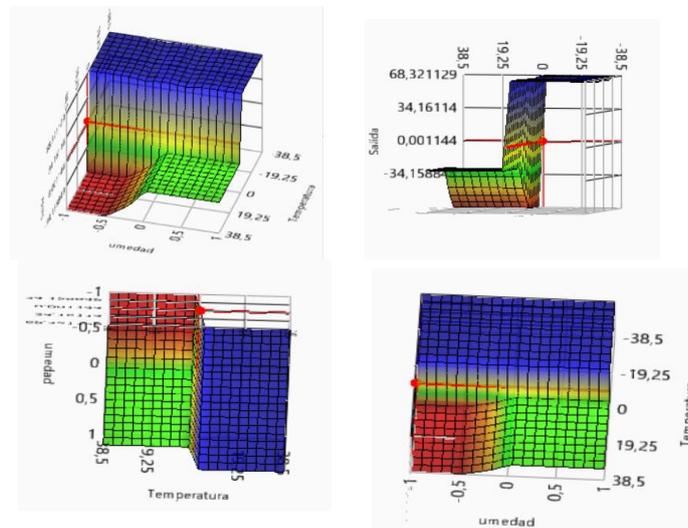


Figura 45-3: Escalamiento Tridimensional de las variables del sistema
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla

Lo que muestra la gráfica es el valor tomado de la salida en función de los valores de que se encuentran disponibles en las entradas, señalando con un punto de color rojo, la sección de la curva en donde se encuentra la salida del sistema en relación a las entradas.

Una vez validado el controlador difuso mediante el análisis de la curva de salida que presenta, se procedió con la implementación del sistema en el invernadero, para efectuar las pruebas de campo y obtener los valores de registro.

Curvas de funcionamiento real para el análisis de los resultados del controlador difuso.

Una vez implementado el controlador en el invernadero se procedió a realizar el análisis del comportamiento real dentro de la plantación de fréjol, obteniendo una curva de funcionamiento tal como se muestra a continuación con una data set de aproximadamente 2000 instancias.

En la figura 46-3 se puede observar el comportamiento de la salida del controlador en condiciones normales.

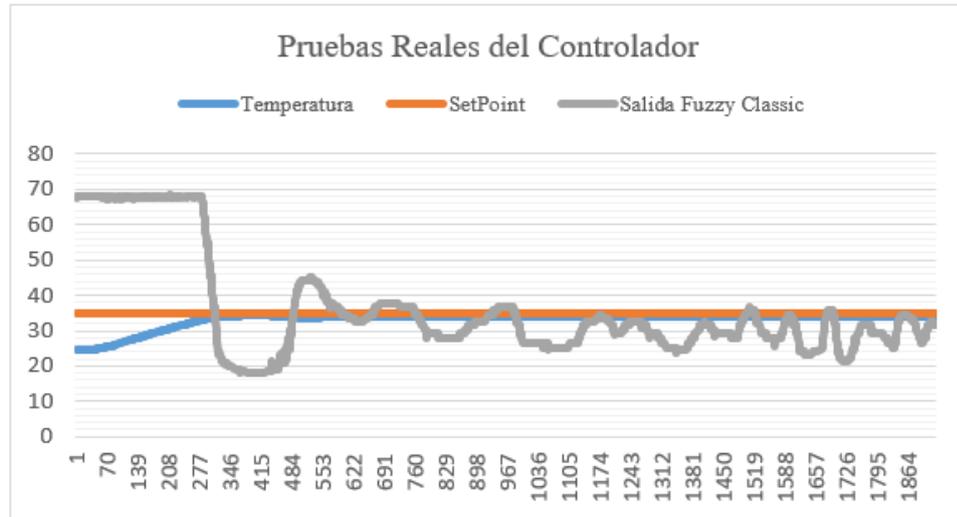


Figura 46-3: Comportamiento real del sistema en condiciones normales con 2000 datos
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla de las pruebas del controlador

A continuación en la figura 47-3 se presenta el comportamiento de la salida del controlador sometido a ciertas perturbaciones

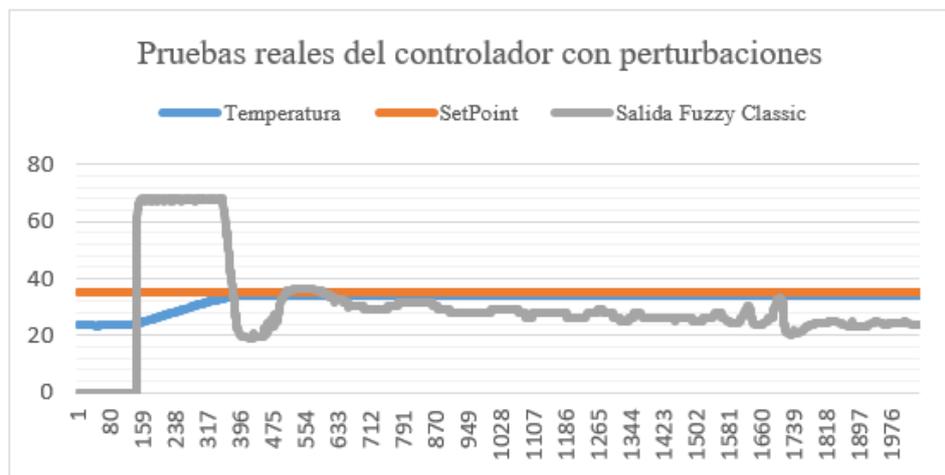


Figura 47-3: Comportamiento real del sistema con perturbaciones, 2000 mil datos
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla pruebas del controlador

3.8 Contraste del Control utilizando Lógica Difusa, y Controladores Convencionales.

Para aumentar la producción de un cultivo es necesario optimizar la tecnología aplicada con técnicas de control específicas para manipular el microclima dentro de un invernadero. Desde 1970 se usan técnicas de control en los invernaderos como el PID (control proporcional + integral + derivativo) o el control apagado/encendido que son técnicas convencionales.

3.8.1 Controlador Convencional.

Los controladores convencionales usan el conocimiento experto para generar una base de conocimientos que dará al sistema la capacidad de tomar decisiones sobre ciertas acciones que se presentan en su funcionamiento. Este tipo de controladores se traducen a pérdidas de energía, mano de obra y productividad.

El controlador convencional utiliza en el sistema de clima del invernadero un modelo no lineal acoplado con tiempos muertos, linealización y compensador de desacoplamiento, y por lo general emplea controladores PID para regulaciones de temperatura y humedad, teniendo en estos controladores acción integral más tiempo muerto (IPDT, integral plus dead time) como sistemas equivalentes desacoplados, como se observa en la figura 48-3.

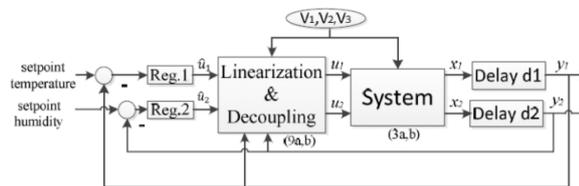


Figura 48-3: Modelo no lineal acoplada con tiempos muertos

Fuente: bibing.us.es/proyectos/abreproy/70476/.../8.+Modelo+y+control+de+invernaderos.pdf

En la figura 49-3 se presenta el resumen del controlador convencional.

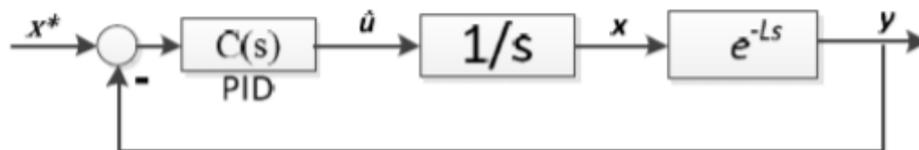


Figura 49-3: Control de temperatura y humedad /tiempos muertos y desacoplamiento PID

Fuente: bibing.us.es/proyectos/abreproy/70476/.../8.+Modelo+y+control+de+invernaderos.pdf

Existen varios métodos de sintonización para controladores PID y PI que se consideran centrados en los procesos integrales más tiempo muerto. Los métodos de sintonización PID a tener en cuenta incluyen métodos empíricos/fórmulas, métodos analíticos y dominio de frecuencia. La función de transferencia estándar de un PID $C(s)$, y el proceso de transferencia de funciones para el tiempo muerto $P(s)$ son:

$$C(s) = \frac{k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)}{T_f s + 1}; P(s) = \frac{k}{s} * e^{-Ls}$$

Ecuación 18-3: Función de Transferencia estándar de un PID.

Donde K_p , T_i , T_d , T_f son los parámetros del PID; K la ganancia y L el tiempo muerto del proceso IPDT. La aproximación de Pade de primer orden para el tiempo muerto:

$$e^{-Ls} = \frac{1 - \frac{1}{2}Ls}{1 + \frac{1}{2}Ls}; \text{ Puede ser utilizada.}$$

Ecuación 19-3: Parámetros del PID

Uno de los métodos empíricos más conocidos para el ajuste del regulador PID es el de método de Ziegler-Nichols que ofrece un buen rechazo de perturbaciones de carga y se puede observar en la tabla 6-3.

Tabla 6-3: Reglas de Ziegler-Nichols PI, PID

	K_p	T_i	T_d
PI	0.9/(KL)	3L	-
PID	1.2/(KL)	2L	L/2

Fuente: bibing.us.es/proyectos/abreproy/70476/.../8.+Modelo+y+control+de+invernaderos.pdf

El uso de técnicas de control clásico como es el control PID de ganancia fija, en algunos casos resulta ser una buena alternativa para controlar sistemas dinámicos; ya que proporcionan tiempos de respuesta rápidos, sin embargo entre mayor es la precisión requerida en el sistema el ajuste de este tipo de control es más difícil ya que son bastante sensibles a las señales de ruido y en ocasiones introducen oscilaciones cuando se presentan retardos en el sistema.

Cuando la dinámica de los sistemas o procesos a controlar es no lineal, el control tiene que tener la capacidad de compensar esta no-linealidad y aunque el control PID asume relaciones lineales, este no tiene la capacidad para responder a esto. Esta no-linealidad difícilmente puede ser caracterizada por una ecuación por lo que en la mayoría de los casos es tratada de manera subjetiva por el operador del proceso.

En los controladores convencionales se utilizará para el tablero general PLC o microcontroladores que requieren instalación de cableado para su funcionamiento ya que se conectarán a 12VCD o 110VCA, realizando un alto consumo de energía, los componentes extras instalados serán los sensores que también requieren cable para ubicarles como las entradas hacia el tablero general.

El control del clima del invernadero es complejo debido a la alta interacción no lineal entre el subsistema biológico y el subsistema físico, y debido a un fuerte acoplamiento de las dos variables controladas principales: temperatura y humedad.

Los invernaderos son considerados como procesos complejos. De hecho, se trata de sistemas no lineales, de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) que presentan comportamientos variantes en el tiempo, y están sujetas a las perturbaciones dependiendo generalmente de las condiciones meteorológicas. Todo esto hace que sea difícil describir un invernadero con modelos analíticos y de control con los controladores clásicos, para ellos se realiza el uso de las teorías del control difuso que es un trabajo de forma diferente a los sistemas de control convencionales, ya que permite describir un conjunto de reglas que utiliza una persona para controlar un proceso y a partir de esas reglas generar acciones de control, éste tipo de control se puede aplicar a sistemas sencillos como a sistemas complejos.

3.8.2 Controlador de Lógica Difusa.

El usar controlador con lógica difusa se enfoca en la búsqueda de reducción de costos y mejora en las prestaciones en los diversos procesos involucrados en una industria. Otro argumento válido para la implementación de controladores difusos es que responden de mejor manera que los controladores lineales ante la variación de parámetros, no linealidades, perturbaciones, tiempos muertos, etc, ya que no sigue modelo matemático establecido.

Un controlador difuso (véase Figura 50-3) está constituido por 4 principales componentes: base de conocimientos, sistemas de codificación, sistemas de inferencia y sistemas de decodificación. Dicha estructura fue desarrollada por Lee en 1990.



Figura 50-3: Estructura general de un controlador difuso

Fuente: catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/herandez_b_ii/capitulo4.pdf

El sistema de control con lógica difusa es una alternativa que pretende introducir un grado de vaguedad en las cosas que evalúa comparado con la lógica clásica. La lógica difusa fue diseñada para imitar el comportamiento del ser humano. Conociendo que en el mundo en que vivimos tiene conocimiento ambiguo e impreciso, y donde el razonamiento del ser humano es un tipo de información que permite actuar con frecuencia.

La lógica difusa en comparación con la lógica convencional permite trabajar con información no exacta para poder definir evaluaciones convencionales, en contrario con la lógica tradicional que solo trabajo con información definida y exacta.

Los conjuntos clásicos pueden definir elementos mediante una función de pertenencia y toman valores de 0 o 1 de un universo en discurso ya que los elementos pueden o no pertenecer al conjunto.

Los conjuntos difusos se encuentran asociados a valores lingüísticos que están definidos por una palabra, etiqueta lingüística o adjetivo. En los conjuntos difusos la función de pertenencia puede tomar valores entre el intervalo de 0 y 1, y ésta transición del valor entre cero y uno es gradual, no cambia de manera instantánea como pasa en los conjuntos clásicos, un ejemplo se observa en la figura 51-3.

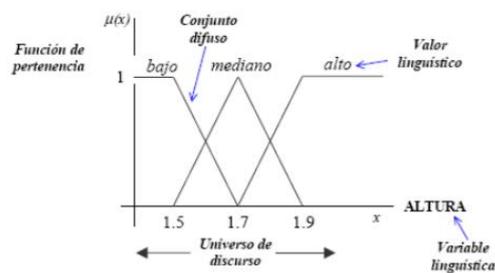


Figura 51-3: Ejemplo de conjunto Difuso

Fuente: catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/herandez_b_ii/capitulo4.pdf

La lógica difusa tiene la capacidad de aprendizaje y automáticamente permite modificar reglas difusas mediante el aprendizaje. Además, se pueden utilizar tanto los datos numéricos e información lingüística. Se puede identificar variables en tiempo real de los sistemas no lineales. Se llama identificador difuso de sistema de lógica difusa, que tiene un algoritmo de aprendizaje de propagación y se utiliza para identificar sistemas dinámicos no lineales.

El identificador difuso tiene dos ventajas esenciales:

1. Los parámetros iniciales de identificación difusa tienen significados físicos, pueden ser seleccionados adecuadamente.
2. La identificación difusa puede manejar información lingüística. El identificador difuso se basa en el sistema de lógica difusa, que se compone de un conjunto de reglas "if-then", por lo que proporciona la ruta de acceso para la utilización de la información lingüística.

3.8.3 Contraste entre controladores.

Después del análisis previo sobre controladores convencionales y controladores difusos se puede afirmar que los componentes de los sistemas convencionales y difusos son bastante

similares, difieren principalmente en que el sistema difuso contiene dos etapas más, la “Fusificación” y la “Defusificación” como se puede observar en la figura 52-3.

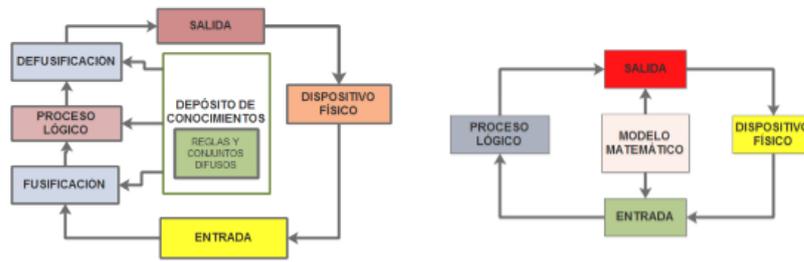


Figura 52-3: Sistema difuso típico, sistema de control convencional (derecha).
Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_b_ii/capitulo4.pdf

Además el control PID está basado en un modelo matemático riguroso de algún proceso lineal. Estos modelos se desarrollan, por medio de la localización de las raíces o algún otro método, un conjunto de ecuaciones que describen el equilibrio del estado estable de la superficie de control, con coeficientes que son asignados a los aspectos proporcional, integral, y derivativo del sistema. Un control PID lee un valor preciso del sensor, aplica el modelo matemático, y produce una salida específica desde el algoritmo matemático.

3.8.4 Análisis de los datos obtenidos con el controlador convencional.

Después de la investigación realizada se obtuvieron datos del controlador PID obtenidos de un invernadero donde se cultivó fréjol, representando la salida como se observa la figura a continuación.

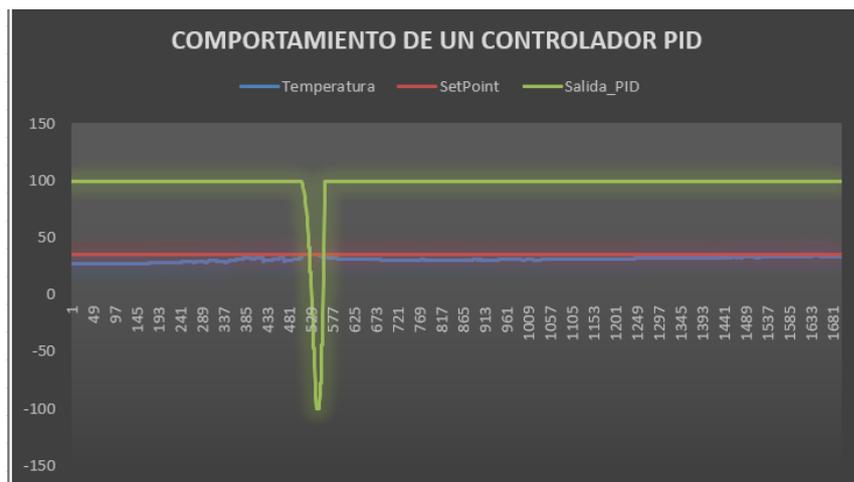


Figura 53-3: Comportamiento de un controlador PID
Realizado por: María Márquez, captura de pantalla

En donde se puede observar que se realiza el control de la temperatura, para ello se utiliza de los datos que se procesa en Excel. Y además se puede visualizar el comportamiento del controlador.

3.8.5 Análisis del Controlador Difuso del Proyecto.

El esquema del proyecto se presenta por medio de bloques que consta de un controlador difuso, dos sensores y 3 actuadores. El controlador difuso Takagi-Sugeno, ejecutará un control con múltiples variables de entrada obteniendo una sola salida ya sea para aumentar o disminuir temperatura. Las variables a controlar son la temperatura y la humedad del suelo. Los parámetros de control serán establecidos dependiendo del cultivo a sembrar en el caso del proyecto (fréjol). Las entradas, serán comunes para el controlador, y censarán variables tanto en el aire como en la tierra.

Estos sensores son sensor de temperatura y sensor de humedad del suelo o tierra. Dichos sensores serán distribuidos de forma simétrica en el invernadero. Por otra parte, los actuadores será una bomba que activa los nebulizadores, una electroválvula para agua (ON/OFF), y un reflector para calentar el ambiente cuando sea necesario. La cantidad de agua vertida será sujeta a la apertura y cierre de la electroválvula, por la detección realizada por el sensor, un resumen de lo expuesto se presenta en la figura 54-3.

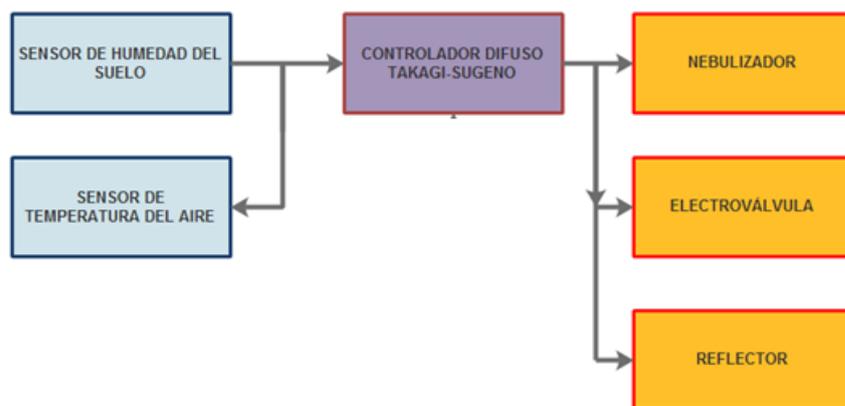


Figura 54-3: Diagrama de Bloques Controlador Difuso del Proyecto
Realizado por: María Márquez

En lo concerniente al sistema de control difuso Takagi-Sugeno como tal, su estructura general se representa en la figura 55-3. En esta se puede observar que se implementó el controlador difuso con entradas comunes. El encargado de controlar la temperatura manejará el apagado y encendido de la bomba que activan los nebulizadores, además activará o desconectará la electroválvula que enciende el sistema de goteo y el encendido o apagado del reflector. Los nebulizadores se encenderán simultáneamente. En general se tiene una estructura MISO en ambos casos, es decir, múltiples entradas una sola salida.

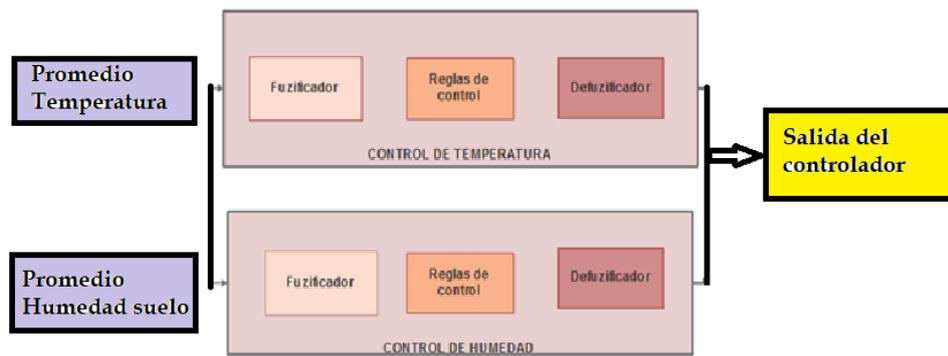


Figura 55-3: Representación en bloques de la estructura MISO
Realizado por: María Márquez

En el invernadero se tiene sensores instalados simétricamente para controlar la variable de humedad y temperatura. Tales dispositivos trabajan con el estándar propuesto que es el 802.15.4, adicional son conectados por la red inalámbrica tipo estrella para capturar los datos y enviarlos al coordinador central a través de la tarjeta waspmote.

Estos dispositivos no consumen grandes cantidades de energía y para su funcionamiento utilizan baterías de 3.3 VCD representando bajos costos por consumo eléctrico.

Posee un sistema de riego el cual está conectado a un tanque de agua de (100 litros) que estará instalado a una altura de aproximadamente de 1m del suelo para ubicar el sistema de goteo. Adicional se instaló el sistema de nebulización el cual se pondrá en funcionamiento cuando la temperatura del invernadero sea elevada es decir sobrepase de lo establecido. Posee un reflector de gran potencia que se instaló para encender en el momento que la temperatura del sistema baje con respecto a lo establecido y una electroválvula que se abrirá o cerrará cuando se requiera agua en el invernadero y se enfríe el mismo.

3.8.5.1 Funcionamiento del Controlador Difuso. En el sistema difuso, el valor de entrada real (proviene de los sensores) este dato es convertido a un valor difuso por el proceso de Fusificación, y luego enseguida es introducido al proceso lógico difuso llamado Mecanismo de inferencia, en donde es continuamente evaluado en un conjunto de reglas que han sido establecidas gracias a los criterios del técnico y a la investigación bibliográfica realizada generando éste proceso un valor de salida difuso, el cual es transformado a un valor de salida real a través del proceso de Defusificación.

El dato de salida real es con frecuencia utilizado para ajustar el funcionamiento de los actuadores que en realidad son los encargados de ajustar el estado estable del sistema físico. El

cambio producido en el sistema es capturado por los sensores y el proceso entero inicia nuevamente.

Los datos fueron recolectados a través de labview en un archivo de Excel tomando muestras cada cinco minutos, mientras se realizaba las pruebas del comportamiento del controlador. Adjunto se encuentra archivo de Excel de los datos recabados del proyecto.

La figura a continuación muestra la salida del controlador difuso.

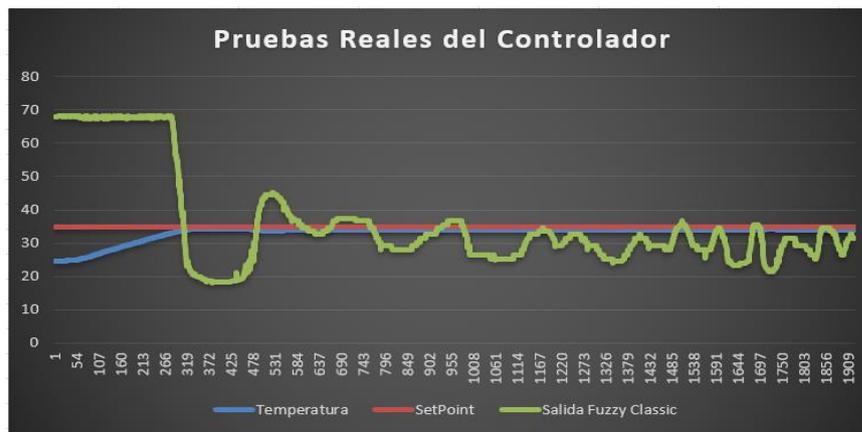


Figura 56-3: Salida del Controlador Difuso

Realizado por: María Márquez, captura de pantalla

3.8.6 Contraste de Resultados de las Gráficas de los Controladores.

Contrastando las gráficas de salida de los dos controladores se puede describir lo siguiente:

- En el controlador difuso se puede observar que se obtiene una señal de estabilización casi del 100% con una salida de controlador variable, convirtiéndose así en un controlador muy eficiente en lo que respecta a temperatura y humedad ya que se acerca al setpoint. Además se observa que es un controlador más eficiente de forma energética debido a que los actuadores no se mantienen encendidos al 100%.
- El controlador convencional obtiene una señal en lo que respecta a temperatura que no se mantiene estable y existe una variación de +/- 5 grados según los datos analizados en el Excel y establecidos en el setpoint.
- Además el controlador convencional es menos eficiente de forma energética ya que su salida se mantiene encendida casi al 100%.
- Hay que aclarar que en el controlador convencional analizado realiza el control solo de temperatura, en comparación con el controlador difuso propuesto se realiza el control de temperatura y humedad.

- Se mejora el rendimiento del sistema ya que existe un control más eficiente de las variables tanto de temperatura y de humedad.

3.9 Costos y Materiales.

El proyecto de investigación será financiado por la autora y los costos del proyecto se pueden observar detallados en la tabla 7-3.

Tabla 7-3: Costo total del proyecto, sin costo de terreno

COSTO DISEÑO DE RED DE SENSORES Y WASPMOTE			
CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
2	Waspnote	163	326
1	Sensor de temperatura	4	4
1	Sensor de humedad (24v)	24	24
1	Batería recargable 660mA	30	30
COSTO PROCESO DE CULTIVO			
½ libra	Semilla de fréjol rojo	0.5	1
1	Abono para el terreno	25	25
	Plástico para invernadero		300
1	Estructura de invernadero 12*6		500
1	Electroválvula		65
1	Reflector para horticultura ALF		150
	315		
1	Bomba de agua HX 6550 200W		150
1	Sistema de Riego por Goteo y nebulizadores		300
	Gastos indirectos		100
	Gastos varios		200
COSTO TOTAL DEL PROYECTO			2165

Realizado por : María Márquez

CAPITULO IV

4. Resultados y Discusión

Luego de haber realizado el diagnóstico de la problemática mediante la aplicación de una encuesta a los agricultores se procede a redactar los resultados de dicha encuesta que se adjunta como anexo.

El cultivo que más se dedica en la actualidad en la zona 3 cantón Pallatanga es el cultivo de fréjol de las 92 personas encuestadas el 51% contestó afirmativamente y el resultado se muestra en el gráfico 1-4.

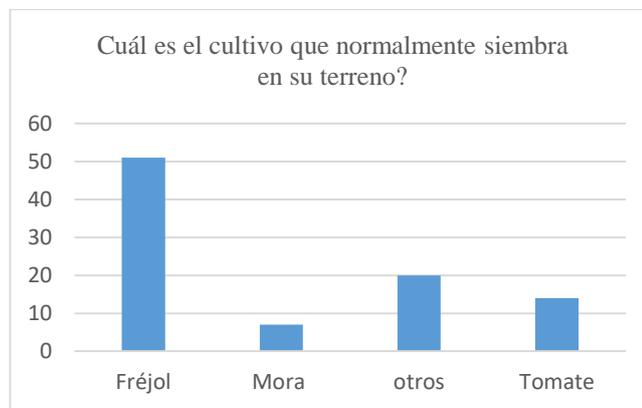


Gráfico 1-4: Respuesta cultivo que más se siembra en el terreno
Realizado por: María Márquez, 2017

De la muestra encuestada el 41% menciona que posee invernadero o vivero instalado en sus terrenos, adicional se puede observar que el 51% no tiene ninguna infraestructura construida en los terrenos de ahí se puede evidenciar una de las problemáticas de los cultivos y el resultado se presenta en el gráfico 2-4.

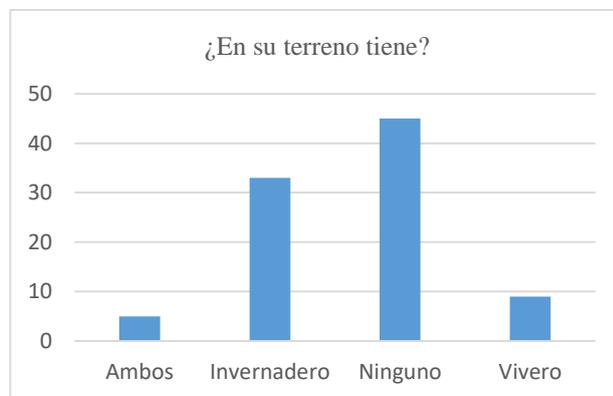


Gráfico 2-4: Respuesta a la infraestructura del terreno
Realizado por: María Márquez, 2017

En relación al sistema de riego el 47% afirman que utilizan los canales de riego para proporcionar agua a los sembríos. Seguido de los sistemas de aspersión en un 30% como se observa en el gráfico 3-4.

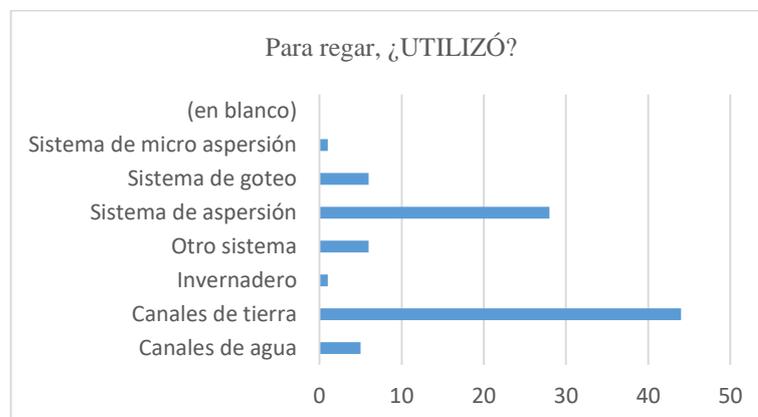


Gráfico 3-4: Respuesta al sistema de riego
Realizado por: María Márquez, 2017

Un 41% de los encuestados afirman que el agua que utiliza es de cielo abierto y el 22% de manantiales o vertientes que poseen en los terrenos como se muestra en el gráfico 4-4 que a continuación se muestra.

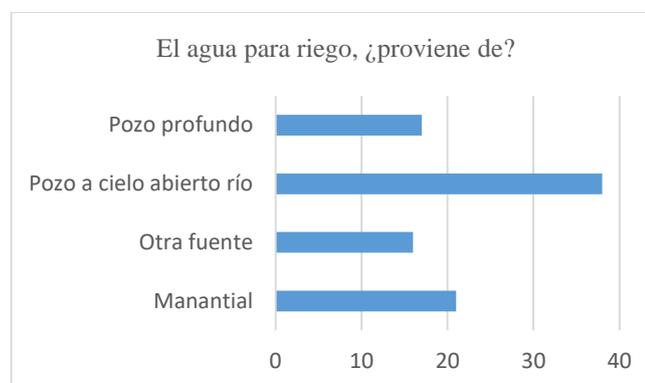


Gráfico 4-4: Respuesta al tipo de agua para riego que se utiliza
Realizado por: María Márquez, 2017

Existen un 78% que utiliza el abono natural para fertilizar sus cultivos, como se muestra en el gráfico 5-4.



Gráfico 5-0: Respuesta utilización de abonos naturales
Realizado por: María Márquez, 2017

Un 57% de los agricultores utilizan la semilla criolla para sembrar. Además el 22% hace uso de la semilla certificada que el MAGAP ha entregado a los agricultores de la zona, se puede observar en el gráfico 6-4.

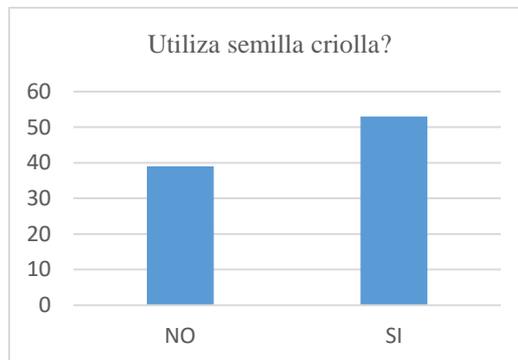


Gráfico 5-4: Respuesta al uso de semilla criolla
Realizado por: María Márquez, 2017

El 5% de los agricultores responde que no usa ningún medidor de temperatura y humedad, nitrógeno, como se observa en el gráfico 7-4.

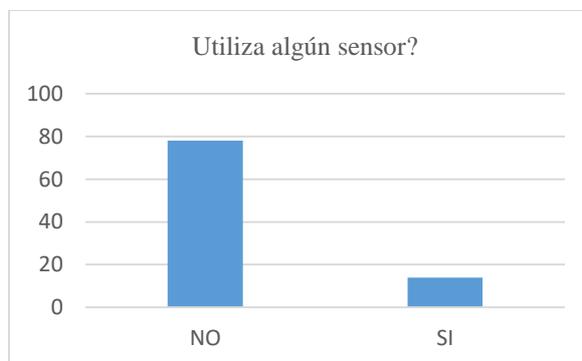


Gráfico 6-4: Respuesta utilización de sensores
Realizado por: María Márquez, 2017

El 51% hace control de plagas mediante los químicos que aplican a los cultivos, aunque esto representa más gastos para el agricultor, si no invierten pierden sus cultivos por las plagas, se muestra en el gráfico 8-4.



Gráfico 7-4: Respuesta al control de plagas
Realizado por: María Márquez, 2017

El 51% de los agricultores hacen referencia a que tienen asistencia técnica por parte de entidad del gobierno MAGAP, o cuando se acercan a comprar productos agrícolas reciben el asesoramiento de los técnicos que les proporcionan los productos como se muestra en el gráfico 9-4.

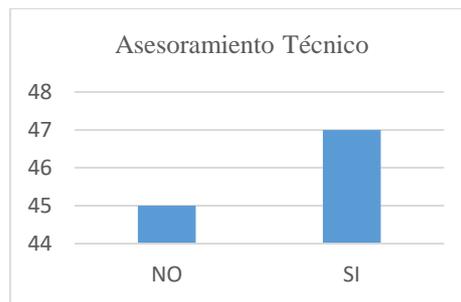


Gráfico 8-4: Respuesta si existe asistencia técnica
Realizado por: María Márquez, 2017

El 25% afirma haber realizado un estudio de suelo previo a realizar el sembrado como se visualiza en el gráfico 10-4.

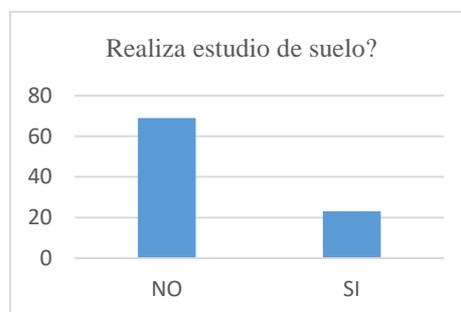


Gráfico 9-4: Estudio de Suelo
Realizado por: María Márquez, 2017

El 81% de los encuestados se refieren a que existen pérdidas debido a todo el capital invertido desde la preparación del terreno hasta la cosecha que se realiza, ya que intervienen varias personas y costos de cultivo y cosecha lo asume el agricultor, como se observa en el gráfico 11-4.

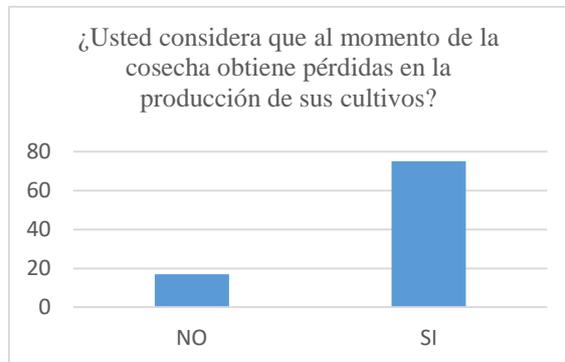


Gráfico 10-4: Pérdidas en la producción
Realizado por: María Márquez, 2017

El 72% de la población encuestada considera que el principal problema para la deficiente producción agrícola es el cambio climático y las plagas, se muestra en el gráfico 12-4.

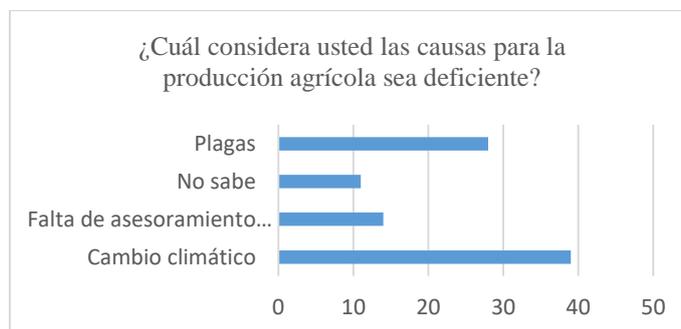


Gráfico 11-4: Causas de las pérdidas en la producción agrícola
Realizado por: María Márquez, 2017

El 53% de las personas siembran entre ½ quintal y un quintal por hectárea y ellos afirman que su producción es de 10 quintales cuando cosechan el fréjol en seco lo que no sucede cuando cosechan el fréjol en tierno ya que su producción se convierte en 20 sacos aproximadamente teniendo en cuenta que aquí se incluye la cáscara del fréjol, como se visualiza en el gráfico13-4.

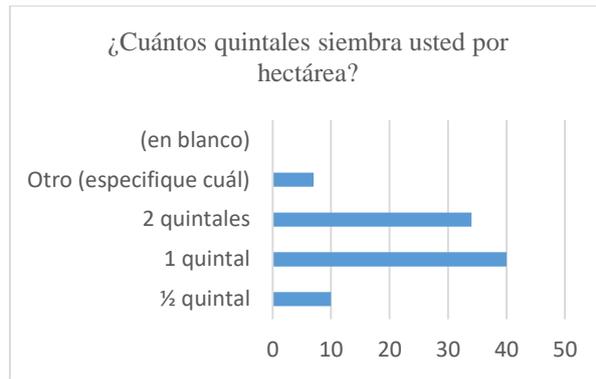


Gráfico 12-4: Quintales por hectárea sembrada
Realizado por: María Márquez, 2017

En el gráfico 14-4 se puede observar la respuesta que corresponde al número de quintales de fréjol seco que aproximadamente cosechan los agricultores por hectárea sembrada siendo entre 5 y 10 quintales por un quintal sembrado de semilla.

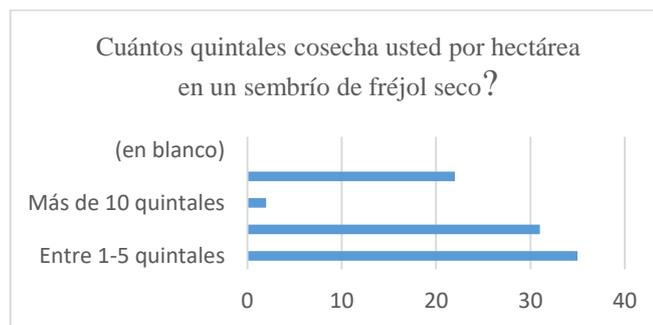


Gráfico 13-4: Número de quintales cosechado por hectárea sembrada
Realizado por: María Márquez, 2017

En el gráfico 15-4 se muestra que el 90% de las personas encuestadas siembran de forma tradicional conservando la sabiduría ancestral, la falta de medios económicos les impide invertir en tecnología.



Gráfico 14-4: Resultado de la encuesta sobre tecnología
Realizado por: María Márquez, 2017

En el gráfico 16-4 se muestra que el 60% de los encuestados considera que invirtiendo en tecnología mejorará el rendimiento de su producción.

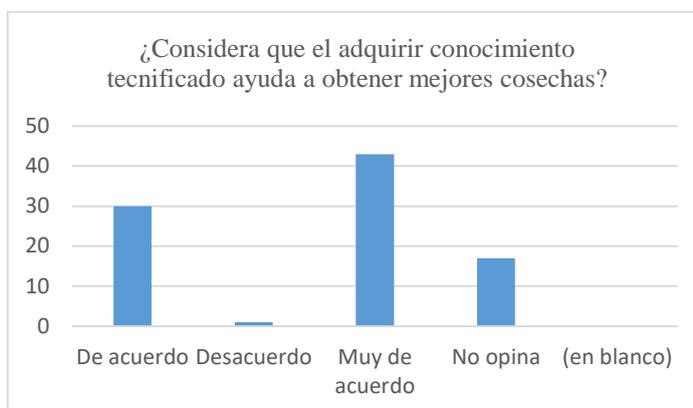


Gráfico 15-4: Mejoramiento Técnico
Realizado por: María Márquez, 2017

Una vez analizadas las respuestas que se han obtenido serán comparadas con los resultados proporcionados después de la experimentación realizada con la implementación de tecnología propuesta y el controlador de lógica difusa diseñado, hay que recalcar que el proceso de siembra en el invernadero se dio en tiempo que no esta contemplado ni por los agricultores, ni en las tablas publicadas por las entidades que se dedican a realizar la investigación de los cultivos, el período de siembra- cosecha fue Julio-Diciembre 2017 el proceso de siembra- cosecha en este tipo de cultivos con esta variedad de fréjol que presentan los agricultores y la investigación fue de período Marzo-Septiembre.

El resultado obtenido en el invernadero es favorable por haber realizado un controlador difuso y haber instalado tecnología innovadora con el estándar 802.14.5, de los resultados que se pueden mencionar estan: se redujo el tiempo de maduración y cosecha del sembrado en esta caso la diferencia en un mes, ya que se cosechó el 2 de Diciembre del 2017 en producto de grano fréjol seco, se obtuvo de 113 gramos sembrados 22676 gramos cosechados, se obtuvo ahorro de energía en el encendido de los actuadores, ahorro de recursos de agua, por el consumo necesario por la inclusión de sensores.

Continuado con el análisis se realiza una comparación en el crecimiento de las plantas. En la figura 1-4 se puede observar una diferencia en el crecimiento de la planta con respecto al desarrollo de la hoja a cielo abierto, y comparando con los resultados favorables en el invernadero controlado.



a)

b)

Figura 57-4: a) Cultivo en campo abierto.

b) Cultivo en el invernadero

Realizado por: María Márquez, 2017

En el proceso de desarrollo y crecimiento a cielo abierto en la planta se debe colocar palos o en su defecto sembrar en conjunto con maíz para que la planta se guíe mientras va creciendo. En el invernadero se colocó hilo que fue sujeto a los palos colocados con anticipación, siguiendo su crecimiento normal, el figura 2-4 a) se puede observar la plantación en el invernadero, en la figura b) se observa plantación a cielo abierto.



a)

b)

Figura 58-4: a) Crecimiento del cultivo en el invernadero

b) Crecimiento del cultivo a campo abierto

Realizado por: María Márquez, 2017

Se realiza un análisis del crecimiento del cultivo de fréjol en el invernadero, y en la zona de investigación a cielo abierto incluído la teoría innvestigada en los folletos publicados por los sectores técnicos (MAGAP). En la figura 3-4 se observa detenidamente que en el cultivo de fréjol de la zona se visuliza las hojas maltratadas por las plagas; y en el invernadero esta desarrollandose de forma adecuada, siendo esto un beneficio ya que no se ha tenido que realizar gasto extra para fungicidas para control de plagas.



a) b)
Figura 59-4: a) Cultivo invernadero b) Zona de cultivo a cielo abierto
 Realizado por: María Márquez, 2017

En el proceso de floración de las plantas se puede observar el desarrollo adecuado en el invernadero y en la zona de estudio de la investigación a cielo abierto como se muestra en la figura 4-4.



a) b)
Figura 60-4: Etapa de Floración a) invernadero
 b) Zona de cultivo a cielo abierto
 Realizado por: María Márquez, 2017

En la figura 5-4 se observan las vainas del fréjol, teniendo en cuenta que en zona abierta han sido afectadas por plagas, mientras que el invernadero se mantienen sin ningún problema de plagas.



a) b)
Figura 61-4: Vaina a) Zona investigada b) Invernadero
 Realizado por: María Márquez, 2017

En la figura 6-4 se muestra a los agricultores de la zona tienen que invertir en fungicidas, considerando que también exponen su salud al hacerlo de forma manual, en el invernadero se instaló un sistema para controlar la temperatura mediante la aspersión de agua para enfriar; si en tal caso el calor estaba más alto de lo establecido en las reglas para este proceso de cultivo, se envía a enfriar mediante el sistema de control de lógica difusa al permitir activar la electroválvula que permita el paso del agua, también se considera que el sistema de aspersión permite ser utilizado para la fumigación por la mezcla que se puede realizar en el agua con algún fungicida.



Figura 62-4: Agricultor esparciendo fungicida
Realizado por: María Márquez, 2017

4.1 T students para muestras relacionadas, verificando la Optimización del Rendimiento por el # de vainas.

El análisis que se presenta a continuación se realizó en condiciones iguales con respecto al número de plantas que se cotejó referente al número de vainas tomando en cuenta que la zona en campo abierto visitada tenga nivel de temperatura y humedad del suelo similar a la creada en el invernadero. Con esta comparación realizada con respecto a la cantidad de vainas encontradas por planta en campo abierto y dentro del invernadero se pretende comprobar la hipótesis descrita a continuación donde se expone que existirá una diferencia significativa en la media del # de vainas en el invernadero al implementar la red de sensores mediante una Waspnote con el protocolo 802.15.4 y control mediante lógica difusa, ya que permitirá la optimización de la producción en un cultivo agrícola del Cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo.

Para definir el estudio se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Se cuenta con baja cantidad de muestras

- Se va a comparar variables numéricas tomadas del mismo grupo en condiciones similares.
- Se analiza los datos con un software estadístico para definir el tipo de distribución que tienen los mismos.

Prueba de normalidad de datos.

Para muestras menores a 30 se utiliza Shapiro Wilk, que para éste análisis el software estadístico genera la siguiente Tabla 1-4.

Tabla4-4: Prueba de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	n	sig
# de vainas en cielo abierto	0.935	20	0.193
# de vainas en invernadero	0.910	20	0.064

Criterio de normalidad
 Si $\text{sig} \geq \alpha$ Distribución Normal
 Si $\text{sig} \leq \alpha$ No es distribución normal

Realizado por: María Márquez, software estadístico.

Los valores de significancia calculados comparados con el nivel de significancia aceptado para esta prueba son:

de vainas a cielo abierto $0.193 > 0.05$

de vainas en el invernadero $0.064 > 0.05$

De los datos expuestos se concluye que los datos tanto del # de vainas a cielo abierto como el # de vainas en el invernadero provienen de una distribución normal; por lo tanto se puede realizar la comprobación de la hipótesis con una prueba T Student.

Definida la prueba a utilizar se realiza la comprobación de la hipótesis mediante el software estadístico, a continuación se detallan los pasos desarrollados.

1. Planteamiento de la hipótesis nula y la hipótesis alternativa

Hipótesis Nula

H_0 = No hay diferencia significativa en la media del # de vainas en el cultivo en el invernadero implementando la red de sensores mediante una Waspote con el estándar

802.15.4 y el control mediante lógica difusa y en el cultivo a cielo abierto sin condiciones controladas.

$$H_0 = u_{\#vainas \text{ en el invernadero}} \leq u_{\#de \text{ vainas a cielo abierto}}$$

Hipótesis Alternativa

H1= Hay una diferencia significativa en la media del # de vainas en el cultivo en el invernadero implementando la red de sensores mediante una Waspote con el estándar 802.15.4 y el control mediante lógica difusa comparado con en el cultivo a cielo abierto sin condiciones controladas.

$$H_1 = u_{\# \text{ de vainas en el invernadero}} > u_{\# \text{ de vainas a cielo abierto}}$$

2. Definición del nivel de significancia (α), porcentaje de error aceptado.

$$\alpha = 5\% = 0.05$$

3. Determinación del Valor P y Criterio de Decisión.

El valor P es el mínimo nivel de significancia en el cual H_0 será rechazado.

Al tratarse de una prueba unilateral que se abre a la derecha, debemos evaluar el valor estadístico t, que se observa en la tabla de pruebas relacionadas proporcionada por el software estadístico; con el siguiente criterio de decisión:

Cuando t es negativo:

No Rechazar H_0

Cuando t es positivo:

Valor $P/2 < \alpha$ Rechazar H_0

Valor $P/2 \geq \alpha$ No Rechazar H_0

Tabla 5-4: Número de datos para la muestra

		N	Correlación	Sig. p-valor
Par	Num Vainas Invernadero &	2		
1	Num Vainas Cielo Abierto	0	-,112	,638

Realizado por: María Márquez, software estadístico

Esta salida muestra para cada pareja de variables: el número de datos, ($N = 20$) el coeficiente de correlación (-0.112) y el p-valor (0.638) asociado al contraste $H_0: r = 0$ frente a $H_1: r < 0$. El

coeficiente de correlación es igual a -0.112, por lo tanto las variables están relacionadas en sentido directo, cuando una crece la otra también crece. Observando el p-valor (0.638) se deduce que se puede rechazar la hipótesis nula ($H_0: r = 0$) por lo tanto existe correlación entre las variables. (La correlación es significativa).

Tabla 6-4: Tabla valores del sig lateral

	Diferencia emparejada					t	gl	Sig(bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	superior			
Par1 Num vainas invernadero Num vainas cielo abierto	-8.4000	10.84047	2.42400	-13.47350	-3.3265	3.465	19	0.003

Realizado por: María Márquez, software estadístico

Esta salida muestra el valor experimental del estadístico de contraste ($t = 3.456$) y Sig. (Bilateral) es 0.003. En caso del proyecto es un contraste unilateral por lo tanto el valor de Sig es 0.001 menor que 0.05, se debe rechazar la hipótesis nula.

De la tabla 3-4, tenemos:

$$t = 3.465$$

$$\text{valor } P = 0,003$$

4. Decisión:

Al ser t positivo:

$$P\text{-valor}/2 < 0,05$$

$$0,003/2 < 0,05$$

$$0,0015 < 0,05$$

Rechazar H_0 , Aceptar H_1

5. Conclusión:

Se acepta la H_1 : La media del # de vainas en el invernadero controlado con lógica difusa e implementado con tecnología es mayor que la media del número de vainas a cielo abierto con similares condiciones a las variables controladas.

Lo que implica que sembrar a cielo abierto sin tecnología ni control de variables alguno presenta valores menores que sembrar en un invernadero con tecnología y sistema de control de lógica difusa implementada ya que optimiza el rendimiento de recursos y optimiza el rendimiento con respeto al número de vainas, como puede observarse en la tabla obtenida del software estadístico, # de vainas a cielo abierto y # de vainas cultivo en el invernadero.

Además se ha llegado a comprobar que la diferencia de estos valores, son numéricamente notorios, estadísticamente tiene una significancia tal, que permite asegurar que se optimizó el rendimiento de los recursos en el cultivo y el rendimiento agrícola haciendo referencia al número de vainas gracias a la tecnología instalada con la plataforma waspmote y el estándar 802.15.4 y el control con lógica difusa.

Tabla 7-4: Medias estadísticas

		Statistic
Num vainas a cielo abierto	Media	83.25
Num vainas en el invernadero	Media	91.65

Realizado por: María Márquez, software estadístico

Propuesta Tecnológica

Como se puede observar el avance tecnológico ha ido creciendo en los últimos años y la utilización de redes de sensores con estándares inalámbricos se ha extendido y se va convirtiendo en una necesidad que puede ser aplicada a varias áreas proporcionando solución a la congestión de tráfico, control de ambientes, control de radiación, control de parqueaderos, agricultura, domótica, etc.

Una vez culminado el proyecto de investigación se propone que se realice la red de sensores con otra topología que soporten los módulos Xbee serie 1, adicional se puede instalar más sensores como pueden ser el de humedad de la hoja, ultrasonido, temperatura del suelo, radiación solar, diámetro del tronco, diámetro de las frutas para realizar el análisis de múltiples variables para tener mayor control en el invernadero, se puede utilizar la plataforma Waspnote Agriculture PRO que posee mejores características.

Se puede realizar un análisis estadístico de los datos que son obtenidos mediante la captura de los sensores y son enviados al Gateway para realizar el control y el encendido de los actuadores.

Utilizar y mejorar el Control de lógica Difusa ya que permite crear reglas difusas que son más comprensibles para el ser humano, y no necesita de un modelo matemático para ser implementado, se evalúa de forma cualitativa alguna cantidad física, para el proceso de defusificación se sugiere el método del medio del máximo, ya que en esta investigación se utilizó el método del centro del área, se puede utilizar el modelado neuro –difuso para experimentar y probar las teorías expuestas.

CONCLUSIONES

- Una vez culminado el trabajo de titulación se puede afirmar que se ha logrado cumplir en un 100% con el objetivo general de la investigación dando como resultado que se acepta la hipótesis propuesta.
- Las limitaciones y alcance de la red dependen de las características de los equipos se han utilizados en el proyecto, además por ser un proyecto de extensiones pequeñas se ha posicionado los nodos de forma simétrica de manera que permita cubrir el área que se encuentra cultivada, para obtener una correcta captura de datos.
- Se realizó el controlador de lógica difusa obteniendo resultados eficientes de forma energética debido a que los actuadores no se mantienen encendidos al 100%, además se obtuvo una señal de estabilización de 98% en lo que respecta a temperatura y humedad ya que se acercó al valor de setpoint requerido, siendo una de las ventajas del control difuso no utilizar ningún modelo matemático.
- El uso del controlador de lógica difusa y la tecnología instalada 802.15.4 con la plataforma waspmote se enfoca en la reducción de costos y la mejora en las prestaciones en los diversos procesos involucrados.
- Se concluye que al realizar el contraste del controlador de lógica difusa con un controlador convencional difieren principalmente en que el sistema difuso contiene dos etapas adicionales como son: la “Fusificación” y la “Defusificación”, además el controlador difuso no tiene modelo matemático establecido.
- El controlador difuso proporciona un ahorro energético e hídrico al no mantener los actuadores encendidos, y solo encenderlos cuando el sistema lo requiera.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar software X-CTU para la configuración de los nodos, el software LabView para elaboración del control de lógica difusa, y el Waspote PRO IDE para programar la captura de los datos a través de los sensores.
- Se recomienda utilizar la Xbee PRO serie 2 ya que posee mayores características y permite probar la configuración de todas las topologías.
- Se recomienda que al construir el invernadero se lo realice con todas las normas para llevar un control adecuado de las variables propuestas para el estudio.
- Se recomienda como propuesta de mejora que se realice la red de sensores con otra topología que soporten los módulos Xbee serie 1, adicional se propone que se instalen más sensores como pueden ser el de humedad de la hoja, ultrasonido, temperatura del suelo, radiación solar, diámetro del tronco, diámetro de las frutas para realizar el análisis de múltiples variables para tener mayor control en el invernadero, se puede utilizar la plataforma Waspote Agriculture PRO que posee mejores características.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo Gonzáles Juan Pablo, Monroy Juan Pablo, Patarroya Katherine, (2013) “Redes de sensores inalámbricos (WSN)” Editorial académica Española

Andino W. (2011). Evaluación de tres tipos de Bioles en la producción de Fréjol (*Phaseolus vulgaris* Var. Calima), en verde. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/785>

Asoprol, (2009), Guía Técnica para el cultivo de Fréjol en los Municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del Departamento de Boaco, Nicaragua <http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>

Botía Blaya Juan, Valdés Vela Mercedes, (2007), Sistemas Difusos y lógica difusa aplicado al análisis de inteligente de datos, Departamento de Ingeniería de la Información y Comunicaciones Universidad de Murcia

Cámara de la industria de la primera zona, http://www.agroecuador.com/web/index.php?option=com_content&view=article&id=111&Itemid=97

Cañellas, A. J. C., & Brage, L. B. (2006). Lógica difusa: una nueva epistemología para las Ciencias de la Educación. *Revista de educación*, (340), 995-1008.

Cano M, (2012). Red de sensores inalámbricos para el Canal del Bajo Guadalquivir: Planificación y Pruebas de viabilidad Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla

Caprile, S. R. (2009). Equisbí. Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos ZigBee y (1 ed.). Buenos Aires, Argentina: Gran Aldea Editores - GAE.

Castro, N.; Chamorro, L.; Viteri, C. Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado. *Rev. Cienc. Agr.* 33(1):106-116. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.57>.

Digi Internacional. (2007, 06 01). Farnell. Retrieved from <http://www.farnell.com/datasheets/27606.pdf>

Digi Internacional. (2017, 06 09). Digi. Retrieved from <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90000976.pdf>

Digi International. (2017). Digi. Retrieved 06 06, 2017, from <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>

Digi Internacional. (2007, 10 16). robotshop. Retrieved from <http://www.robotshop.com/media/files/pdf/xbee-zigbee-wireless-module.pdf>

Duarte Galván, C. (2011). *Sistema de control climático de bajo costo para invernadero basado en FPGA*, Universidad Autónoma de Querétaro.

Estadísticas Agropecuarias, Instituto Nacional de Estadística y Censos. http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2014/Resultados_2014/2.%20Presentacion_ESPA_C_2014.pdf (Pág. 3), Pag 42

Farahani, S. (2008). *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. (G. Traductor, Trans.) Burlington: Elsevier Ltd., Retrieved 2017

Gascón, D. (2009, 04 28). Libellium. Retrieved 06 05, 2017, from <http://www.libellium.com/802-15-4-vs-zigbee/>

Gislason, D. (2000). *Zigbee Wireless Networking*.

González Carlos (2011), *Lógica Difusa Introducción práctica Técnicas de Softcomputing*, Publicado 14 Enero 2017, Recuperado http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf

Instituto Nacional Autónomo de investigación Agropecuaria <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL%20FREJOL%20Y%20LEGUMIN%202010.pdf>, Pag 6

IEEE Computer Society. (2006, 05 09).

Alcaraz. J. M, (2011) “Tutorial NesC: Conceptos Básicos”, Redes Móviles Ed. Person España

Zadeh. L. A, (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex system. IEEE Transaction on System Man and Cybernetics, 1:28– 44. Recuperado <http://dns2.asia.edu.tw/~ysho/YSHO-English/2000%20Engineering/PDF/IEE%20Tra%20Sys%20Man%20Cyb3,%2028.pdf>

Zadeh. L. A, Fuzzy set. Information and Control, 8:338–353, 1965. [3] L.A. Recuperado: <http://garfield.library.upenn.edu/classics1980/A1980KP91500001.pdf>

Libelium. (2017, 04 15). Libelium. Retrieved from http://www.libelium.com/development/waspmote/sdk_applications

Libelium. (2017, 07 03). Libelium. Retrieved from http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspmote_technical_guide.pdf

Ludeña, C., Wilk, D. (2013). Mitigación y Adaptación al cambio climático, Banco Interamericano de Desarrollo, Ecuador.

Masa'deh, R. (2015, 12 18). <https://www.slideshare.net/rajamohd2/enhancement-and-performance-evaluation-of-a-multicast-routing-mechanism-in-zig-bee-cluster-tree-wireless-sensor-network>. Retrieved from <https://www.slideshare.net/rajamohd2/enhancement-and-performance-evaluation-of-a-multicast-routing-mechanism-in-zig-bee-cluster-tree-wireless-sensor-network>.

Mercado, G., Gitto, J., Soria, R., Taffernaberry, J. C., Pérez Monte, C., Orbiscay, M., Diedrichs, A. (2015). Diseño e Implementación de red académica experimental aplicando IPv6. In XXI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Junín.

Millones V, (2012). Implementación de RTU inalámbrica usando ZigBee, Tesis de Pregrado en Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica, Piura, Perú.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (2016), La política agropecuaria ecuatoriana: hacia el desarrollo territorial rural sostenible: 2015-2025, Pag 37, Quito
Objetivos del Buen vivir. <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-11.-asegurar-la-soberania-y-eficiencia-de-los-sectores-estrategicos-para-la-transformacion-industrial-y-tecnologica>

Ochoa Emilio, (2013), Evaluación agronómica de 120 cultivares de fréjol arbustivos Phaseolus Vulgaris I. Facultad de Ciencias Agrarias Universitarias de Guayaquil, Guayaquil (Ecuador).

Peralta, E., A. Murillo, N. Mazón, C. Monar, J. Pinzón y M. Rivera. (2010). Manual Agrícola de Fréjol y otras Leguminosas. Cultivos, variedades y costos de producción. Publicación Miscelánea No. 135 (Segunda impresión actualizada). Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador. 70 p.

Gobierno Provincial de Chimborazo. (2017). Planes estratégicos de desarrollo. <http://www.chimborazo.gob.ec/chimborazo/wp-content/uploads/LOTAIP/ANEXOS4/1.%20%20PDOT%20Chimborazo.pdf>

Ríos, W. D. P. (2015), Monitoreo de cultivos con redes de sensores xbee, arduino, y dispositivos de medición de suelos, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Física y de Sistemas, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5712/0052P659.pdf?sequence=1>

Saavedra Cano, Carlos Andrés (2015). Implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el condominio Annabella. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias. UDLA. Quito. 107 p.

Ministerio de Agricultura Acuicultura y Pesca del Ecuador, (2016). Sistemas de riego comunitario, Recuperado: [http://www.agricultura.gob.ec/gap-chimborazo-implemento-sistema-de-gestion-de-riesgos-comunitario-en-la-produccion-agricola/Banco Central Quito](http://www.agricultura.gob.ec/gap-chimborazo-implemento-sistema-de-gestion-de-riesgos-comunitario-en-la-produccion-agricola/Banco%20Central%20Quito) <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc201601.pdf>, pag26

Sohraby kazem, Minoli Daniel, Znati Taieb, (2007), Wireless Sensor Networks Technology, Protocols, and Applications, Jhon Wiley&Sons, Inc, Hoboken, New Jersey

STD. IEEE 802.15.4. (2006, 05 09).

Vera, Oscar. (2011). Lógica Difusa. Recuperado: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/icbi/asignatura/logicaDifusa.pdf

Vidal Tomás, (2014), Introducción a la lógica difusa, Recuperado:
<http://profesores.elo.utfsm.cl/~tarredondo/info/soft-comp/Introduccion%20a%20la%20Logica%20Difusa.pdf>

Zaradnik, I. J. (2014, 08 11). Electrocomponentes S.A. (DIGI, Ed.) Retrieved from
http://www.electrocomponentes.com/educacion/download/SASE_2014_DIGI_Tutorial_Modulos_XBEE.pdf

ZIGBEE ALLIANCE. (2014, 01 28). Zigbee Alliance. Retrieved from
<http://www.zigbee.org/tag/utility-industry/>

ZIGBEE ALLIANCE, INC. (2008, 01 17). ZigBee Alliance. Retrieved from
<http://www.zigbee.org>

Anexo A. Programación para comunicación de las tarjetas

```
#include <WaspSensorAgr_v30.h>
//#include <WaspXBee802.h>
//#include <WaspXBeeZB.h>
#include <WaspFrame.h>
float temp; // Stores the temperature in ?C
float humd; // Stores the realitve humidity in %RH
float pres; // Stores the pressure in Pa
// Destination MAC address
////////////////////////////////////
char RX_ADDRESS[] = "0013A2004169810";
////////////////////////////////////
// define variable
uint8_t error;
void setup()
{
  Agriculture.ON();
  // init USB port
  USB.ON();
  USB.println(F("Transmision TX_2"));
  // set Waspnote identifier
  frame.setID("R_2");
  //////////////////////////////////
  // 1. init XBee
  //////////////////////////////////
  xbee802.ON();
  delay(1000);
  temp = Agriculture.getTemperature();
  humd = Agriculture.getHumidity();
  pres = Agriculture.getPressure();
  //////////////////////////////////
  // 1. create frame
  //////////////////////////////////
  // 1.1. create new frame
  frame.createFrame(ASCII);
  // 1.2. add frame fields
```

```

//frame.addSensor(SENSOR_STR, "Complete example message");
frame.addSensor(SENSOR_AGR_TC, temp );
frame.addSensor(SENSOR_AGR_HUM, humd );
frame.addSensor(SENSOR_AGR_PRES, pres );
//frame.addSensor(SENSOR_BAT, PWR.getBatteryLevel() );
  USB.println(F("\n1. Frame creado para enviar"));
frame.showFrame();
////////////////////////////////////
// 2. send packet
////////////////////////////////////
// send XBee packet
error = xbee802.send( RX_ADDRESS, frame.buffer, frame.length );
  USB.println(F("\n2. Send a packet to the RX node: "));

// check TX flag
if( error == 0 )
{
  USB.println(F("send ok"));
  // blink green LED
  Utils.blinkGreenLED();
}
else
{
  USB.println(F("send error"));

  // blink red LED
  Utils.blinkRedLED();
}
////////////////////////////////////
// 2. check XBee's network parameters
////////////////////////////////////
checkNetworkParams();
}
void loop()
{
  temp = Agriculture.getTemperature();
  humd = Agriculture.getHumidity();

```

```

pres = Agriculture.getPressure();

////////////////////////////////////
// 1. create frame
////////////////////////////////////
// 1.1. create new frame
frame.createFrame(ASCII);
// 1.2. add frame fields
// frame.addSensor(SENSOR_STR, "Complete example message");
frame.addSensor(SENSOR_AGR_TC, temp );
frame.addSensor(SENSOR_AGR_HUM, humd );
frame.addSensor(SENSOR_AGR_PRES, pres );
frame.addSensor(SENSOR_BAT, PWR.getBatteryLevel() );
    USB.println(F("\n1. Frame creado para enviar"));
frame.showFrame();
////////////////////////////////////
// 2. send packet
////////////////////////////////////
// send XBee packet
error = xbee802.send( RX_ADDRESS, frame.buffer, frame.length );
    USB.println(F("\n2. Send a packet to the RX node: "));
    // check TX flag
if( error == 0 )
{
    USB.println(F("send ok"));
    // blink green LED
    Utils.blinkGreenLED();
}
else
{
    USB.println(F("send error"));
    // blink red LED
    Utils.blinkRedLED();
}
// wait for 5 seconds
USB.println(F("\n-----"));
delay(1000);

```

```

}
/*****
*
* checkNetworkParams - Check operating
* network parameters in the XBee module
*
*****/
void checkNetworkParams()
{
  // 1. get operating 64-b PAN ID
  xbee802.getOperating64PAN();

  // 2. wait for association indication
  xbee802.getAssociationIndication();

  while( xbee802.associationIndication != 0 )
  {
    printAssociationState();
    delay(1000);
    // get operating 64-b PAN ID
    xbee802.getOperating64PAN();
    USB.print(F("operating 64-b PAN ID: "));
    USB.printHex(xbee802.operating64PAN[0]);
    USB.printHex(xbee802.operating64PAN[1]);
    USB.printHex(xbee802.operating64PAN[2]);
    USB.printHex(xbee802.operating64PAN[3]);
    USB.printHex(xbee802.operating64PAN[4]);
    USB.printHex(xbee802.operating64PAN[5]);
    USB.printHex(xbee802.operating64PAN[6]);
    USB.printHex(xbee802.operating64PAN[7]);
    USB.println();
    xbee802.getAssociationIndication();
  }
  USB.println(F("\nJoined a network!"));
  // 3. get network parameters
  xbee802.getOperating16PAN();
  xbee802.getOperating64PAN();

```

```

xbee802.getChannel();
USB.print(F("operating 16-b PAN ID: "));
USB.printHex(xbee802.operating16PAN[0]);
USB.printHex(xbee802.operating16PAN[1]);
USB.println();
USB.print(F("operating 64-b PAN ID: "));
USB.printHex(xbee802.operating64PAN[0]);
USB.printHex(xbee802.operating64PAN[1]);
USB.printHex(xbee802.operating64PAN[2]);
USB.printHex(xbee802.operating64PAN[3]);
USB.printHex(xbee802.operating64PAN[4]);
USB.printHex(xbee802.operating64PAN[5]);
USB.printHex(xbee802.operating64PAN[6]);
USB.printHex(xbee802.operating64PAN[7]);
USB.println();
USB.print(F("channel: "));
USB.printHex(xbee802.channel);
USB.println();
}
/*****
* printAssociationState - Print the state
* of the association flag
*****/
void printAssociationState()
{
  switch(xbee802.associationIndication)
  {
    case 0x00 :
      USB.println(F("Successfully formed or joined a network"));
      break;
    case 0x21 :
      USB.println(F("Scan found no PANs"));
      break;
    case 0x22 :
      USB.println(F("Scan found no valid PANs based on current SC and ID settings"));
      break;
    case 0x23 :

```

```
    USB.println(F("Valid Coordinator or Routers found, but they are not allowing joining (NJ
expired)"));
    break;
case 0x24 :
    USB.println(F("No joinable beacons were found"));
    break;
case 0x25 :
    USB.println(F("Unexpected state, node should not be attempting to join at this time"));
    break;
case 0x27 :
    USB.println(F("Node Joining attempt failed"));
    break;
case 0x2A :
    USB.println(F("Coordinator Start attempt failed"));
    break;
case 0x2B :
    USB.println(F("Checking for an existing coordinator"));
    break;
case 0x2C :
    USB.println(F("Attempt to leave the network failed"));
    break;
case 0xAB :
    USB.println(F("Attempted to join a device that did not respond."));
    break;
case 0xAC :
    USB.println(F("Secure join error: network security key received unsecured"));
    break;
case 0xAD :
    USB.println(F("Secure join error: network security key not received"));
    break;
case 0xAF :
    USB.println(F("Secure join error: joining device does not have the right preconfigured
link key"));
    break;
case 0xFF :
    USB.println(F("Scanning for a ZigBee network (routers and end devices)"));
    break;
```

```
default :  
    USB.println(F("Unkown associationIndication"));  
    break;  
}  
}
```

Anexo B. Encuesta dirigida a los agricultores



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA DE LA ESPOCH
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

Encuesta dirigida a los agricultores de la provincia con el objetivo de analizar varios parámetros necesarios para una investigación con respecto a los cultivos de fréjol en Chimborazo.

DATOS INFORMATIVOS

Marque con una X la respuesta de cada una de las preguntas planteadas.

1 ¿Cuál es el sexo del agricultor(a)?

Masculin <input type="checkbox"/>	Femenino <input type="checkbox"/>
-----------------------------------	-----------------------------------

2 ¿Qué edad tiene el agricultor?

Menos de 20	
20 a 30 años	
30 a 50 años	
Más de 50 años	

3 ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en este sector?

Menos de 5 años	
De 5 a 10 años	
De 10 a 15 años	
Más de 15 años	

4. Este terreno cuanta superficie tiene en total?

Menos de 1 hectárea	
De 1 a 5 hectáreas	
No sabe	

5. Cuál es el cultivo que normalmente siembra en su terreno?

Fréjol	
Tomate	
Mora	
Otros	

6. ¿En su terreno tiene?

Invernadero	
Vivero	
Ambos	
Ninguno	

7. Para regar, ¿UTILIZÓ?

Canales de tierra	
Sistema de micro aspersión	
Sistema de aspersión	
Sistema de goteo	
Otro sistema	

8. En los cultivos o plantaciones, ¿Qué utilizó?:

a) Medidores de temperatura	SI	NO
b) Medidores de humedad	SI	NO
c) Asistencia técnica	SI	NO
d) Alguna otra tecnología	SI	NO
e) Estudio de Suelo	SI	NO

11. ¿Usted considera que al momento de la cosecha obtiene pérdidas en la producción de sus cultivos?

SI	
NO	

12. ¿Cuál considera usted las causas para la producción agrícola sea deficiente?

Cambio climático	
Plagas	
Falta de asesoramiento técnico	
No sabe	
Otros (Especifique cuál)	

13. ¿Cuántos quintales siembra usted por hectárea?

1 quintal	
2 quintales	
½ quintal	
Otro (especifique cuál)	

14. Cuántos quintales cosecha usted por hectárea en un sembrío de fréjol seco.

Entre 1-5 quintales	
Entre 6-10 quintales	
Más de 10 quintales	
No sabe	

15. Cuántos quintales cosecha usted por hectárea en un sembrío de fréjol tierno.

Entre 5 -10 sacos	
Entre 11 -25 sacos	
Más de 25	
No sabe	

16. ¿La actividad que usted realiza lo hace de forma?

Tecnológica	
Tradicional	

17. ¿Considera que el adquirir conocimiento tecnificado se ayuda a obtener mejores cosechas?

Muy de acuerdo	
De acuerdo	
Desacuerdo	
No opina	

Anexo C. Encuesta dirigida al personal técnico en agricultura



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA DE LA ESPOCH
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

Formulario de preguntas dirigidas al especialista técnico con el objetivo de analizar varios parámetros necesarios para el proyecto Diseño e implementación de una red de sensores mediante una waspmote con el protocolo 802.15.4 para el procesamiento de datos y control mediante lógica difusa, que permita la optimización de la producción en un cultivo agrícola en el cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo.

DATOS INFORMATIVOS

Nombre y Apellidos

¿Qué edad tiene el Técnico?

¿Qué nivel de estudios posee?

En qué empresa trabaja y a qué se dedica la empresa

Cuál cree usted que es el principal problema para el bajo rendimiento en un cultivo?

Cuáles serían los pasos a seguir para obtener buenos resultados en un cultivo agrícola?

Cuáles considera usted que son los problemas que se enfrenta el agricultor en la actualidad, para que no se obtenga el rendimiento como el desea?

Conoce usted de tecnología innovadora que se ha implementado en la agricultura?

Considera que se debería realizar más estudios para mejorar el rendimiento en los cultivos?

Anexo D. Planos del invernadero



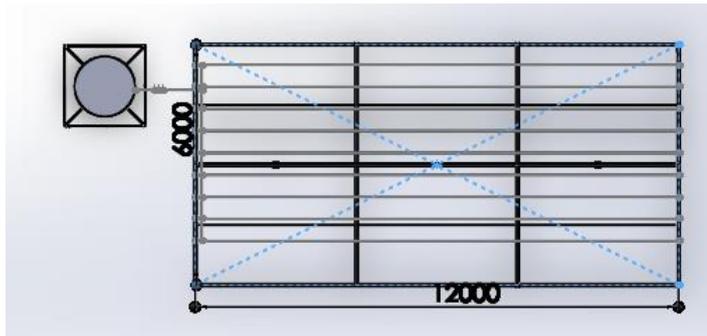
Invernadero diseñado en solidworks



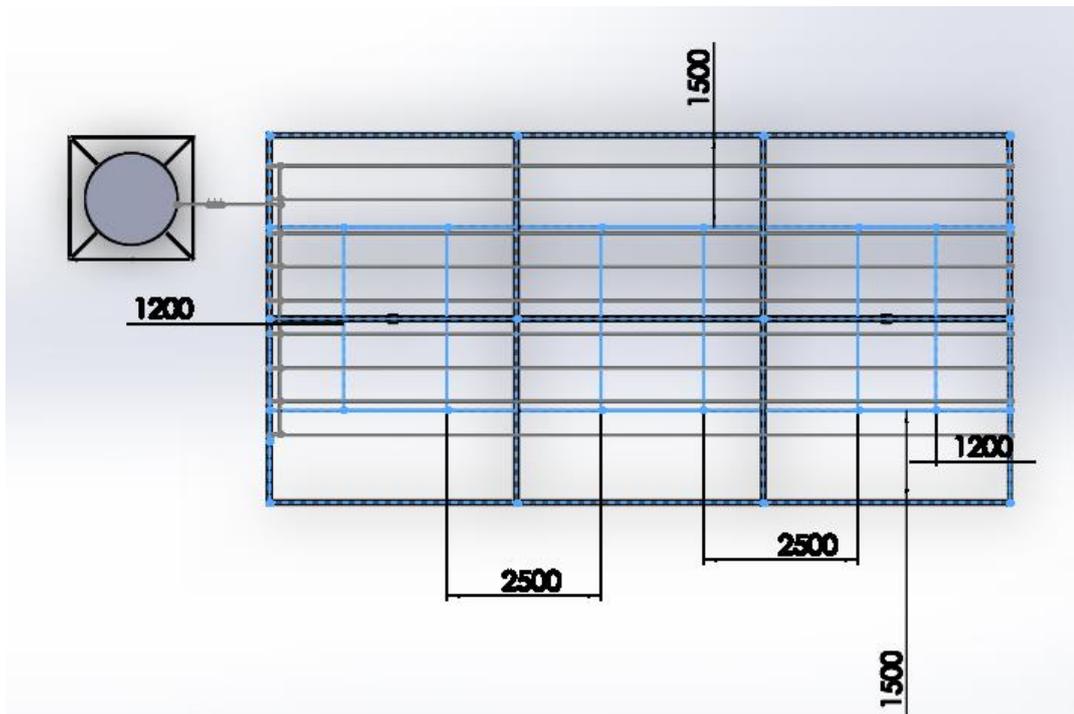
Sistema Para Riego instalado



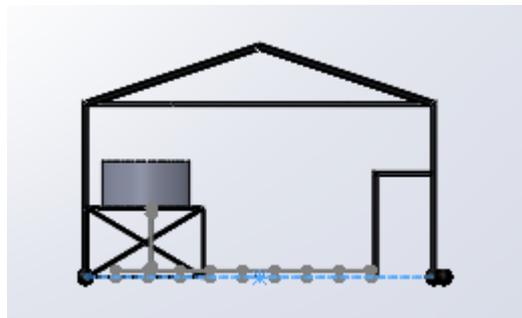
Mangueras para sistema de goteo instaladas



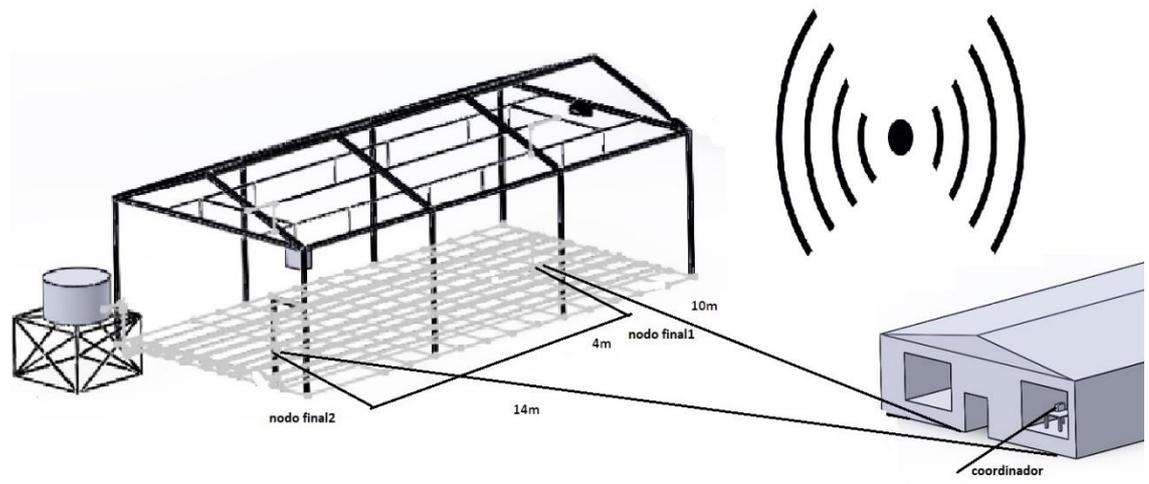
Dimensiones del invernadero largo y ancho



Dimensionamiento del invernadero



Vista de frente del invernadero



Esquema de colocación de nodos para la red