

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO TECNOLÓGICO PARA EL
PROYECTO DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN UN CULTIVO DE TOMATE EN
SUTAMARCHÁN, BOYACÁ (COLOMBIA).**

JEIMY LORENA ORJUELA ALVAREZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERIAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ
2012

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO TECNOLÓGICO PARA EL
PROYECTO DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN UN CULTIVO DE TOMATE EN
SUTAMARCHÁN, BOYACÁ (COLOMBIA).**

JEIMY LORENA ORJUELA ALVAREZ

MONOGRAFÍA

DIRECTOR

INGENIERO ALVARO ESCOBAR

Docente Facultad Ingeniería Electrónica, Universidad Santo Tomás

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERIAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ
2012

RECTOR GENERAL

Padre Carlos Mario Alzate Montes, O.P.

VICERRECTOR ACADÉMICO

Padre Eduardo Gonzáles Gil, O.P.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO-FINANCIERO

Padre Luis Francisco Sastoque Poveda, O.P.

DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

Padre Pedro José Díaz Camacho, O.P.

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Ingeniera Adriana Cecilia Páez Pino

Nota de aceptación:

Firma Tutor Pasantía

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 12 junio 2012

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a cada una de las personas que pertenecen a mi núcleo familiar, sentimental y de amistad, aquellas personas que siempre confiaron en mí y en mis capacidades que siempre fueron una voz de apoyo y un aliento para cada momento difícil encontrado durante mi carrera profesional.

A mi mamá por su apoyo incondicional, porque ella ha sido el pilar de mi vida, mi modelo a seguir y la razón por la que he llegado a donde estoy, agradezco también por su constancia, paciencia, sabiduría y perseverancia.

A mi abuelita por estar siempre en los momentos más importantes de mi vida, por sus consejos, por su apoyo, confianza y amistad.

A Henry quien se ha convertido en una parte muy importante en mi vida, que me ha apoyado y me ha entregado toda su confianza, respeto y amor, y que me ha brindado fortaleza, comprensión, compañía y un gran apoyo cuando más lo necesité.

A mis amigos (Rafael Rodríguez, Camilo Muñoz, Carolyn Jiménez y Luis Miguel Ibarra) por permitirme entrar a sus vidas y compartir momentos alegres, tristes, estresantes y por darme consejos cuando los necesitaba, ustedes hacían ver todo un poco más fácil, gracias por su alegría y positivismo ante los trabajos y laboratorios más difíciles y por estudiar juntos para cada parcial que se venía y que con ayuda mutua logramos sacar adelante.

A mis profesores, especialmente a Jaime Vitola y a Edgar Betancourt, quienes con su dedicación, sabiduría, apoyo y paciencia realizaron un papel muy importante en mi formación como ingeniera

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
0. RESUMEN	19
1. ABSTRACT.....	19
2. INTRODUCCIÓN.....	20
3. ANTECEDENTES	21
4. OBJETIVOS.....	22
4.1 GENERAL.....	22
4.2 ESPECÍFICOS	22
5. REFERENCIAS NORMATIVAS	23
5.1 CE (CONFORMIDAD EUROPEA):	23
5.1.1 EN55022:1998-EN 55022:1998/A1:2000-EN 55022:1998/A2:2003	23
5.1.2 EN 61000-4-3:2002-EN 61000-4-3/A1:2002-EN 61000-4-3:2006.....	24
5.1.3 UNE-EN 60950-1:2007	24
5.1.4 ETSI EN 301 489-1 V1.6.1, EN 300 328	24
5.2 FCC (FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION- COMISIÓN FEDERAL DE COMUNICACIONES)	25
5.3 IC (CERTIFICADO DE IDENTIDAD)	25
5.4 NTC 5400(BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA FRUTAS, HIERBAS AROMÁTICAS CULINARIAS Y HORTALIZAS FRESCAS)	26
5.5 APPCC (SISTEMA DE ANÁLISIS DE PELIGROS Y DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL)...	26
6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	27
7. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	28
7.1 INFORMACIÓN GEO REFERENCIADA DEL CULTIVO (MALLA)	28
7.2 GESTIÓN DEL REGISTRO DE CAMPO	29
7.3 MONITOREO DE CULTIVO MEDIANTE SENSORES	29

7.3.1 Variables a medir.....	30
7.3.2 Registro y control de variables.....	30
7.4 REPORTES.....	30
8. DIAGRAMA DE COMPONENTES	31
8.1 COMPONENTES HARDWARE	31
8.1.1 Módulos ZigBee.....	31
8.1.2 Placas Waspnote.....	32
8.1.2.1 Conectores I/O	34
8.1.2.1.1 Analógicas	35
8.1.2.1.2 Digitales.....	36
8.1.2.1.3 PWM (Pulse Width Modulation)	36
8.1.2.1.4 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).....	37
8.1.2.1.5 I2C (Inter-Integrated Circuit)	37
8.1.2.2 RTC (Real Time Clock)	37
8.1.3 Placas de Integración de Sensores.....	38
8.1.3.1 Placa de Agricultura	39
8.1.4 Sensores	39
8.1.4.1 Sensor de Presión Atmosférica (MPX4115A)	40
8.1.4.2 Sensor de Humedad Ambiente (808H5V5).....	41
8.1.4.3 Sensor de Temperatura Ambiente (MCP9700A)	43
8.1.4.4 Sensor de Humedad de Tierra (Watermark).....	45
8.1.4.5 Sensor de Radiación Solar (SQ-110)	47
8.1.4.6 Estación Meteorológica	48
8.1.4.6.1 Anemómetro	49
8.1.4.6.2 Veleta	50
8.1.4.6.3 Pluviómetro.....	52
8.1.5 Meshlium	53
8.1.5.1 Especificaciones:.....	53
8.1.5.2 Comunicaciones Inalámbricas:.....	54
8.2 COMPONENTES SOFTWARE.....	56
8.2.1 Base de Datos	56
8.2.1.1 MySQL	56

8.2.1.2 MSSQL	56
8.2.1.3 Sincronización de datos	56
9. CONFIGURACIÓN DE LOS COMPONENTES DE HARDWARE	57
9.1 WASPMOTE	57
9.1.1 Ensamble de Módulos	57
9.1.2 ENTORNO DE PROGRAMACIÓN	62
9.2 ZIGBEE	67
9.2.1 CONFIGURACIÓN GENERAL	67
10. CONFIGURACIÓN DE LOS COMPONENTES DE SOFTWARE	74
10.1 MESHLIUM	74
10.1.1 Entorno de Programación	74
10.1.2 Modificación de los Programas Implementados	78
11. DESARROLLO DEL SOFTWARE	79
11.1 METODOLOGÍA IMPLEMENTADA	79
11.2 IMPLEMENTACIÓN	80
11.3 APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES	80
12. PRUEBAS.....	82
12.1 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA.....	82
12.2 SENSORES DE HUMEDAD DEL SUELO.....	83
12.3 DATOS.....	84
12.3.1 Resultados Humedad Relativa y Temperatura.....	85
13. INSTALACIÓN	87
14. CONCLUSIONES.....	92
15. BIBLIOGRAFÍA.....	93

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. ESPECIFICACIONES PLACA WASPMOTE.....	32
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS- VALORES DE FUNCIONAMIENTO	34
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS- VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS.....	34
TABLA 4. NOMBRES DE PINES.....	35
TABLA 5. OPCIONES DE PROGRAMACIÓN RTC.	38
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS PLACA AGRICULTURA	39
TABLA 7. ESPECIFICACIONES SENSOR PRESIÓN ATMOSFÉRICA	40
TABLA 10. ESPECIFICACIONES SENSOR DE HUMEDAD DE TIERRA	46
TABLA 11. ESPECIFICACIONES SENSOR SQ-110.....	48
TABLA 14. VALORES QUE PUEDE TOMAR LA RESISTENCIA EQUIVALENTE DE LA RED EN FUNCIÓN DE LA DIRECCIÓN QUE SEÑALE LA VELETA.....	51
TABLA 15. ESPECIFICACIONES PLUVIÓMETRO	52
TABLA 16. MODELO DE DATOS.....	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. MALLA DEL CULTIVO	29
FIGURA 2. MÓDULO XBEE ZB PRO	31
FIGURA 3. TOPOLOGÍA PARA MÓDULOS ZIGBEE	32
FIGURA 4. COMPONENTES PRINCIPALES CARA SUPERIOR PLACA	33
FIGURA 5. COMPONENTES PRINCIPALES CARA INFERIOR PLACA WASPMOTE ...	33
FIGURA 6. CONECTORES I/O	34
FIGURA 8. DESCRIPCIÓN DE PINES I2C-UART AUXILIARES	36
FIGURA 9. PLACA DE AGRICULTURA	39
FIGURA 11. TENSIÓN DE SALIDA CON RESPECTO A LA PRESIÓN	41
FIGURA 12. SENSOR 808H5V5	41
FIGURA 13. VOLTAJE CON RESPECTO A HUMEDAD RELATIVA	43
FIGURA 14. SENSOR MCP9700A	43
FIGURA 15. TENSIÓN DE SALIDA DEL SENSOR CON RESPECTO A TEMPERATURA	45
FIGURA 16. SENSOR WATERMARK	45
FIGURA 17. RESISTENCIA SENSOR EN FUNCIÓN A LA TENSIÓN DEL AGUA EN EL SUELO	46
FIGURA 19. RESPUESTA ESPECTRAL DE SENSOR CON RESPECTO A LA RESPUESTA FOTOSINTÉTICA DE UNA PLANTA.....	48
FIGURA 20. ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	49
FIGURA 21. ANEMÓMETRO	49

FIGURA 22. TENSION DE SALIDA DEL ANEMÓMETRO EN FUNCIÓN A LA VELOCIDAD DEL VIENTO.....	50
FIGURA 23. VELETA	50
FIGURA 25. MESHLIUM	53
FIGURA 26. OPCIONES DE ALMACENAMIENTO DE MESHLIUM	55
FIGURA 27. OPCIONES DE CONEXIÓN DE MESHLIUM	55
FIGURA 28. ELEMENTOS DE CONFIGURACIÓN DE HARDWARE PARA WASPMOTE	57
FIGURA 29. CONEXIÓN BATERÍA 6600 MAH A LA PLACA WASPMOTE	58
FIGURA30. CONEXIÓN BATERÍA AUXILIAR	58
FIGURA31. CONEXIÓN TARJETA SD.....	59
FIGURA 32. CONEXIÓN ANTENA DE 2.4 GHZ AL MÓDULO XBEE.....	59
FIGURA 33. CONEXIÓN MÓDULO XBEE A LA PLACA	60
FIGURA 34. ENSAMBLAJE PARCIAL DEL PROCESO.	60
FIGURA 36. CONEXIÓN SENSORES DE HUMEDAD DE SUELO	61
FIGURA 37. CONEXIÓN SENSORES DE HUMEDAD AMBIENTE, TEMPERATURA Y HUMEDAD DE SUELO	62
FIGURA 38. WASPMOTE IDE.....	62
FIGURA 39. MENÚ HERRAMIENTAS IDE WASPMOTE	63
FIGURA 40. SELECCIÓN PUERTO SERIAL	64
FIGURA 41. VERIFICACIÓN SINTAXIS DEL CÓDIGO.....	65
FIGURA 42. ERROR MIENTRAS SE CARGA UN PROGRAMA EN LA PLACA WASPMOTE.....	66
FIGURA 43. RETIRO JUMPER DE HIBERNACIÓN.....	67
FIGURA 44. GATEWAY	67

FIGURA 45. PESTAÑA PC SETTINGS DEL PROGRAMA XCT-U	68
FIGURA 47. PARÁMETROS MODIFICADOS DE LA CARPETA NETWORKING.	70
FIGURA 48. PARÁMETROS MODIFICADOS DE LA CARPETA ADDRESSING.	71
FIGURA 49. PARÁMETROS MODIFICADOS DE LA CARPETA SERIAL INTERFACING	72
FIGURA 51. SISTEMA DE INSERCIÓN DE DATOS EN LA BASE DE DATOS	74
FIGURA 52. ACCESO A MESHLIUM MANAGER SYSTEM	75
FIGURA 53. CONFIGURACIÓN DE PUTTY.....	76
FIGURA 54. SHELD	77
FIGURA 56. TERMO HIGRÓMETRO	82
FIGURA 57. PRUEBA CON BAJA CONDICIÓN DE HUMEDAD	83
FIGURA 59. TERMÓMETROS ANÁLOGOS DE TEMPERATURA Y BULBO HÚMEDO .	86
FIGURA 60. CULTIVO DE TOMATE EN SUTAMARCHAN	87
FIGURA 61. CAJAS Y SENSORES DE HUMEDAD DE SUELO.	88
FIGURA 62. INSTALACIÓN CAJAS	88
FIGURA 63. CAJA CON SENSORES DE HUMEDAD AMBIENTE Y TEMPERATURA INSTALADA.....	89
FIGURA 64. INSTALACIÓN SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO	89
FIGURA 65. CONCENTRADOR MESHLIUM INSTALADO	90
FIGURA 66. INSTALACIÓN ESTACIÓN METEOROLÓGICA	90
FIGURA 67. CAJA ESTACIÓN METEOROLÓGICA INSTALADA	91

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A REGISTRO ACTIVIDADES AGRÍCOLAS.....	95
ANEXO B DIAGRAMA DE COMPONENTES	115
ANEXO C DIAGRAMA DE BLOQUES SEÑALES DE DATOS.....	116
ANEXO D DIAGRAMA DE BLOQUES SEÑALES DE ALIMENTACIÓN	117
ANEXO E BASE DE DATOS EXTERNA (MYSQL).....	118
ANEXO F LÍNEAS DE CÓDIGO PARA PROGRAMA ZIGBEESTORE.C.....	119
ANEXO G PRUEBA 1 HUMEDAD RELATIVA.....	121
ANEXO H PRUEBA 1 TEMPERATURA	122
ANEXO I PRUEBA 2 HUMEDAD RELATIVA	123
ANEXO J PRUEBA 2 TEMPERATURA.....	124
ANEXO K CARTA PSICROMÉTRICA	125

GLOSARIO

Agente Contaminante	Cualquier elemento ya sea químico, biológico, físico o de otra naturaleza que pueda generar riesgo para el consumidor.
Agricultura de precisión	Modelo de agricultura en el cual se optimiza el uso de los recursos teniendo en cuenta la variabilidad de los factores que influyen en la producción de un cultivo mediante el adecuado manejo de la información.
Agua de riego	Agua utilizada con el fin de suplir el consumo por evapotranspiración de un cultivo.
Amperio (A)	Unidad de intensidad de corriente eléctrica del Sistema Internacional y es la cantidad de electrones que fluyen a través de un material conductor.
Amperio-hora (Ah)	Unidad de carga eléctrica. Indica la cantidad de carga eléctrica que pasa por los terminales de una batería, si ésta proporciona una corriente eléctrica de 1 amperio durante 1 hora.
Antena	Dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre.
Antena Isotrópica	Se define como una antena que radia energía uniformemente en todas las direcciones.
AT (Área testigo)	Permite realizar una comparación en el cultivo para determinar la viabilidad del proyecto.
AWG	(American Wire Gauge) Referencia de clasificación de diámetros de cable o alambre.
Bits por segundo (bps)	Unidad de medida para la cantidad de información que se transfieren por unidad de tiempo.

BPA (Buenas Prácticas Agrícolas)	Según la NTC 5400 “la aplicación de las buenas prácticas agrícolas implica el conocimiento, comprensión, planificación, registro y la gestión orientados al logro de objetivos sociales, ambientales y productivos específicos.”
Compostaje	Proceso por el cual materiales orgánicos se transforman en material estable el cual se puede utilizar en los cultivos como fertilizante.
Decibelio (dB)	Unidad logarítmica de potencia relativa, relaciona la potencia de salida sobre la de entrada.
Decibelio Isotrópico (dBi)	Unidad logarítmica de potencia relativa de una antena isotrópica.
Drenaje	Actividad encaminada a extraer de un terreno el agua de exceso, puede ser superficial o sub superficial esto dependerá de las condiciones del terreno y de los estudios realizados como la profundidad del nivel freático (freatimetria).
Enmienda al suelo	Actividad realizada con el fin de mejorar una condición del suelo ya sea química por medio de fertilizantes, física con ayuda de maquinaria, biológica mediante la adición de microorganismos benéficos y en general cualquier actividad que mejore alguna condición del suelo.
ETSI	Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones
Fertilizante	Elemento aplicado al suelo con el fin de proporcionar los nutrientes necesarios para su desarrollo, cada fertilizante puede traer componentes y concentraciones diferentes por lo tanto es necesario tener las fichas técnicas de cada producto.
Gateway	Dispositivo implementado para la interface USB-PC que permite la programación de los módulos ZigBee.
GPS (Global Positioning System)	Sistema que sirve para determinar la posición de algo específico proporcionando coordenadas, latitud, longitud y altura; el GPS está constituido por una constelación de 24 satélites ubicados a 20.000km de la tierra.

GPRS	Tecnología de conmutación de paquetes que permite transferencias de datos a través de redes celulares. Se utiliza para el Internet móvil, MMS y otras comunicaciones de datos. También se conoce como 2.5G.
Hercio (Hz)	Unidad de frecuencia en el sistema internacional. Se define como el número de ciclos de onda completos por segundo.
Inocuidad	Cualidad del producto que garantiza que el consumidor no tendrá ningún riesgo de contraer una enfermedad transmitida por alimentos.
Labranza mínima	Labranza que busca dar al suelo las mínimas condiciones necesarias para el desarrollo del cultivo.
LMR	Límite máximo de residuos en un producto (plaguicidas).
Lixiviación	Transporte de materiales a capas más profundas del suelo por acción del movimiento del agua en el suelo en sentido vertical.
MIPE	Manejo integrado de plagas y enfermedades de manera que se optimice el uso de productos ya sean de origen químico o biológico y se logren los objetivos planteados.
Patógeno	Microorganismo que puede transmitir enfermedades a los seres vivos.
Plaga	Cualquier especie vegetal, animal u hongo que aparezca de forma masiva causando daños al cultivo.
Plaguicida	Producto encaminado al control y prevención de plagas y enfermedades del cultivo.
Plántula	Planta en su etapa inicial de desarrollo, actualmente existen viveros dedicados a la producción de plántulas a partir de las semillas.
Labores culturales	Actividades de manejo del cultivo como preparación del suelo, control de arvenses, programación de cosecha, rotación de cultivos, control biológico de plagas, etc.

Protocolo	Conjunto de reglas usadas por dispositivos electrónicos para comunicarse unos con otros a través de una red por medio de intercambio de datos.
Router	Dispositivo electrónico usado para la transferencia de datos; este dispositivo enruta los datos buscando el camino más corto para su efectiva transferencia, también hay algunos más sofisticados que buscan el camino más rápido así no sea el más corto.
Sensor	Dispositivo diseñado para tomar información del exterior, transformándola normalmente en energía eléctrica con el objetivo de cuantificar y manipular esta información.
Topología	Forma lógica y geométrica de una red, es la configuración adoptada por las estaciones de trabajo para conectarse entre si.
Trazabilidad	Proceso mediante al cual es posible conocer la procedencia y manejo de un producto desde el lugar en donde se produce hasta el consumidor final.
Voltio (V)	Unidad de potencial eléctrico y fuerza electromotriz del Sistema Internacional, equivalente a la diferencia de potencial que hay entre dos puntos de un conductor.
Watchdog	Permite despertar al Microcontrolador de la placa Waspnote del estado de bajo consumo generando una interrupción, dicha interrupción se genera por software
WiFi	Tecnología inalámbrica, también conocido como el estándar IEEE 802.11.
ZigBee	Estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance, está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de las baterías.

0. RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo explicar los resultados obtenidos a partir del desarrollo del prototipo de un modelo de agricultura de precisión, que pretende ser aplicado en el sector agrícola de Colombia. Introduciendo tecnología de control con la ayuda de equipos electrónicos que permitan digitalizar y procesar las mediciones de las diversas variables que pueden ser capturadas en el modelo.

Palabras Clave (*Cultivo, Integración de Tecnologías, Desarrollo de software, Agricultura de Precisión*)

1. ABSTRACT

This paper seeks to explain the results obtained from the prototype development of a model of precision agriculture, to be applied in the agricultural sector in Colombia. Introducing control technologies with the help of electronic equipment to enable digitize and process the measurements of the different variables that can be captured in the model.

Index Terms (*Farming, Technologies Integration, Software Development, Precision Agriculture*)

2. INTRODUCCIÓN

A diferencia de otros países, Colombia cuenta con una variedad de climas, lo que permite que se presente una gran diversidad de cultivos. Según el ministerio de agricultura Desarrollo Rural, el crecimiento de la frontera agrícola previsto para los siguientes años es de 5 millones de hectáreas y la producción aún se realiza de forma tradicional, limitando de esta forma el desarrollo del sector. La competitividad es uno de los factores más influyentes en cualquier mercado y más aún con las políticas comerciales abiertas como los Tratados de Libre Comercio.

Según algunos estudios realizados por el Ministerio de Agricultura y con base en encuestas y censos realizadas por el DANE, se ha podido determinar que los precios elevados de los productos de origen agrícola obedecen a la gran demanda y a que se tiene un bajo proceso tecnificado para la producción, lo que conlleva a aumentar mano de obra, tiempos de producción, riesgos de pérdida y por lo tanto los costos. Por otro lado, en el transcurso del año hay épocas en que las condiciones climáticas favorecen las grandes producciones creciendo de esta manera la oferta mientras que la demanda se mantiene constante, aspecto que ocasiona la disminución de los precios y pérdidas por falta de manejo post-cosecha.

La Agricultura de Precisión es considerada como un modelo alternativo utilizado en la producción agropecuaria, mediante el cual se emplean diferentes métodos de medición con la ayuda de herramientas tecnológicas con el propósito de recopilar información en tiempo real sobre lo que sucede; esta se almacena en una base de datos para luego ser utilizada en un software que brindará diversas alertas o sugerencias las cuales serán de gran utilidad para los agricultores.

3. ANTECEDENTES

La puesta en marcha de la Agricultura de Precisión comenzó en la década de los noventa del siglo pasado, con la emergencia de nuevas tecnologías (GPS, sistemas de información geográfico (SIG), sensores que estiman ciertas variables en tiempo real, etc.) y herramientas matemáticas como la geoestadística. (Ibáñez, 2009)

Se puede señalar que tal aproximación ha sido más ampliamente aceptada en EE.UU, Turquía y Australia, en donde ya existen algunos Institutos de investigación en esta materia; además se encuentran varios casos de éxito en Inglaterra.

La agricultura de precisión nace gracias a la idea de aplicar todas las nuevas tecnologías al ámbito de la gestión del cultivo. Dicha idea requiere de la implementación de módulos, sensores y equipos costosos, que impiden la masificación de dicho modelo en los diferentes cultivos del país. La propuesta es implementarlo soportado en un diseño propio e importando los componentes electrónicos que no son de fabricación local.

En Latinoamérica, solamente Argentina ha implementado el concepto de la Agricultura de Precisión, AP, cuyo mayor potencial es reducir los costos de producción, aumentar la productividad y dar un uso más eficiente de los insumos. En un sentido más amplio, la agricultura de precisión permite administrar los insumos en el tiempo y en el espacio, optimizar la logística de las operaciones en campo, supervisar el trabajo de los empleados, manejar los riesgos de la producción, vender productos diferenciados, proveer trazabilidad de los productos para consumo humano, y documentar los insumos aplicados para cumplir con reglas de protección ambiental.

En Colombia, la empresa Riopaila Castilla S.A ha evolucionado a la Agricultura de Precisión pues cada metro de suelo es tratado en forma diferenciada de acuerdo a sus características únicas, logrando una producción precisa e intensa. Obteniendo mayor productividad, ahorro y control de fertilizante, entrega de nutrientes exactos al cultivo y disminución en la contaminación por agroquímicos e información técnica consistente para la toma de decisiones.

Siguiendo el ejemplo de esta importante empresa Colombiana, se desarrolla el proyecto de agricultura de precisión en el departamento de Boyacá exactamente en la población de Sutamarchan ya que, en este lugar no se ha implementado la Agricultura de Precisión y es de vital importancia iniciar con la aplicación de estas tecnologías puesto que allí se presentan cultivos de diversas variedades y con la ayuda de este tipo de tecnología, es posible monitorear las condiciones del cultivo y así mejorar las condiciones del mismo, logrando de esta manera que estos productos tengan mayores beneficios para el consumidor.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Realizar un diseño tecnológico de la infraestructura de comunicación e implementarlo en un sistema de Agricultura de Precisión en un cultivo de tomate en Sutamarchán, Boyacá (Colombia).

4.2 Específicos

- Realizar el montaje de la infraestructura de comunicación del proyecto por medio de módulos ZigBee.
- Realizar la recepción de datos entregados por los sensores en el cultivo en un concentrador para que este los registre en una base de datos (MySQL).
- Configurar las placas Waspote y calibrar los sensores para obtener datos confiables permitiendo un análisis verás de las variables presentes en el cultivo de tomate.

5. REFERENCIAS NORMATIVAS

5.1 CE (Conformidad Europea):

La empresa Libelium se rige bajo la directiva 1999/05/CE, la cual se aplica a los dispositivos electrónicos de telecomunicación así como transmisores y receptores, en este caso los módulos ZigBee.

Waspote es un dispositivo de captación sensorial, con geo localización y comunicación inalámbrica que permite:

- Comunicación a corta y larga distancia de datos, voz, imagen.
- Captar datos de sensores analógicos y digitales conectados directamente o a través de sondas.
- Permitir el acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas así como en redes locales permitir la conexión sin hilos entre ordenadores y/o terminales y dispositivos periféricos.
- Conocer su localización geoespacial.
- Interconectar redes cableadas con redes inalámbricas de distintas frecuencias.
- Interconectar redes inalámbricas de distintas frecuencias entre sí.
- Dar salida a la información obtenida en redes sensoriales inalámbricas.
- Actuar como una estación de almacenamiento de datos.
- Captar información del medio mediante la interconexión de interfaces, periféricos y sensores.
- Actuar con el medio mediante la activación/desactivación de mecanismos electrónicos (tanto analógicos como digitales).

Las siguientes normas están acorde a este equipo:

5.1.1 EN55022:1998-EN 55022:1998/A1:2000-EN 55022:1998/A2:2003

(Equipo de tecnología de la información - Características de perturbación de Radio - Límites y métodos de medida)

La intención de este estándar es establecer exigencias uniformes para el nivel de perturbación de radio del equipo contenido en el alcance, fijar los límites de perturbación, describir los métodos de medida y estandarizar condiciones de funcionamiento.

5.1.2 EN 61000-4-3:2002-EN 61000-4-3/A1:2002-EN 61000-4-3:2006

(Compatibilidad electromagnética (EMC) - Parte 4-3: Técnicas de ensayo y de medida – radiación, radiofrecuencia, prueba de inmunidad de campo electromagnético)

Aplica para la inmunidad de los equipos eléctricos y electrónicos que irradian energía electromagnética. Establece niveles de prueba y los procedimientos necesarios. Establece una referencia común para evaluar el rendimiento de los equipos eléctricos y electrónicos cuando se someten a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (Ministerio de Ciencias y Tecnologías, 2000).

5.1.3 UNE-EN 60950-1:2007

(Equipos de tecnología de la información. Seguridad. Parte 1: Requisitos generales (IEC 60950-1:2005 Corrigendum 1:2006))

5.1.4 ETSI EN 301 489-1 V1.6.1, EN 300 328

(Compatibilidad Electromagnética (EMC) y Espectro de Radio (ERM), estándar para equipo y servicios de radio).

Las normas ETSI son estándares desarrollados por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI), una organización independiente y sin ánimo de lucro reconocida oficialmente por la Comisión Europea como organismo de estandarización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en Europa (Comité Europeo para la estandarización Electrotécnica)(ETSI, 2005).

Meshlium es un dispositivo de comunicación inalámbrica que cuenta con las normas anteriormente mencionadas y que permite:

- Comunicación a corta y larga distancia de datos, voz, imagen.
- Permitir el acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas así como en redes locales permitir la conexión sin hilos entre ordenadores y/o terminales y dispositivos periféricos.
- Conocer su localización geoespacial.
- Interconectar redes cableadas con redes inalámbricas de distintas frecuencias.

- Interconectar redes inalámbricas de distintas frecuencias entre sí.
- Dar salida a la información obtenida en redes sensoriales inalámbricas.
- Actuar como una estación de almacenamiento de datos.
- Captar información del medio mediante la interconexión de interfaces, periféricos y sensores.
- Actuar con el medio mediante la activación/desactivación de mecanismos electrónicos (tanto analógicos como digitales).

5.2 FCC (Federal Communications Commission- Comisión Federal de Comunicaciones)

Para Waspote:

- FCC (XBee PRO ZB series 2 + GPRS Hilo)
- FCC ID: XKM-WASP02 comprising
- FCC ID: MCQ-XBEEPRO2
- FCC ID: VW3HILOC

Para Meshlium ZigBee-Mesh-3G/GPRS-AP:

- FCC ID: NKRCM9
- FCC ID: Q87-USBBT100V2
- FCC ID: UDV-0200901181058
- FCC ID: OUR-XBEEPRO
- FCC ID: MCQ-XBEEPRO2
- FCC ID: MCQ-XBEE09P
- FCC ID: MCQ-XBEEEXSC

5.3 IC (Certificado de Identidad)

Para Waspote:

- IC (XBee PRO ZB series 2 + GPRS Hilo)
- IC: 8472A-WASP02 comprising
- IC: 1846A-XBEEPRO2
- IC: 2599H-HILOC

(© Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2010)

5.4 NTC 5400(Buenas prácticas agrícolas para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas)

Esta norma tiene como fin proporcionar requisitos generales y recomendaciones en el contexto colombiano, para garantizar la inocuidad de las frutas, las hierbas aromáticas culinarias y las hortalizas, y lograr la sostenibilidad ambiental, económica y social de los sistemas productivos en las distintas regiones del país.(Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2005)

5.5 APPCC (Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control)

El control de alimentos incluye todas las actividades que se lleven a cabo para asegurar la calidad, la inocuidad y la presentación honesta del alimento en todas las etapas, desde la producción primaria, pasando por el elaboración y almacenamiento, hasta la comercialización y el consumo; incluye todas las iniciativas nacionales que se emprenden de conformidad con un procedimiento integrado, en el que participan el gobierno y todos los segmentos y sectores de la industria alimentaria, también está vinculado con la mejora de la salud de la población, el potencial de desarrollo económico del país y la disminución del deterioro y de las pérdidas de alimentos.

El APPCC ha adquirido reconocimiento internacional como una herramienta eficaz para garantizar la inocuidad y la aptitud de los alimentos para el consumo humano y para el comercio internacional (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002)

6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de planeación y manejo en el sector agrícola, ha ocasionado un gran deterioro en los cultivos y afecta directamente a los agricultores, decreciendo el índice de cosecha y utilizando mayor cantidad de fertilizantes y otros elementos que se requieren en los cultivos, lo que conlleva a un aumento significativo en los costos de producción.

Es por esta razón que la Agricultura de Precisión se convierte en una alternativa para dar solución a estos problemas, integrando la tecnología con la agricultura, presentando de esta manera múltiples beneficios para el campo agrario.

Para solventar estos inconvenientes, se generará un software que permita el manejo de las áreas de cultivo de manera integral aportando información organizada, pertinente y oportuna que apoye la toma de decisiones para el agricultor.

7. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Para el desarrollo de la propuesta se llevaron a cabo los módulos que se observan a continuación:

7.1 Información geo referenciada del cultivo (malla)

Para el buen desarrollo y manejo de un cultivo es necesario tener presente cuáles son las necesidades nutricionales de la planta, de la posición geográfica en un área específica se derivan gran parte de los comportamientos productivos de la misma.

De esa manera una planta que cuente con los elementos nutricionales adecuados tendrá mejores posibilidades de desarrollo y de esa forma un mejor proceso productivo.

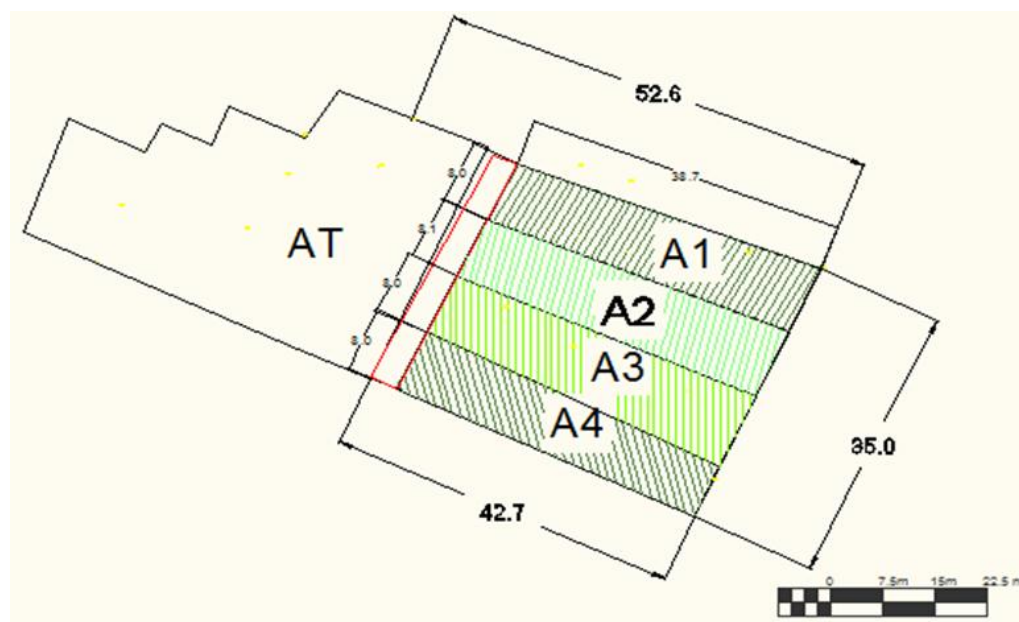
En este proceso el suelo se convierte en el aliado fundamental para un buen desarrollo, éste requiere de un análisis para conocer las propiedades que presenta (nutrientes), y para esto, se realizaron diferentes pruebas con el fin de identificar las características presentes, clasificarlo y definir la ubicación de las placas y sensores en el cultivo optimizando las mediciones mediante la captura de las variables.

La malla se define de la siguiente manera:

- Reconocimiento visual del terreno (Color del suelo y vegetación en el terreno).
- Información proporcionada por el agricultor.
- Levantamiento topográfico georreferenciado utilizando sistemas de posicionamiento global (GPS).

En la figura 1, se observa el mapa del cultivo de tomate, en este se tiene que AT es el área testigo y A1, A2, A3 y A4 corresponden a áreas de trabajo en las cuales se instalarán las placas Waspnote y los correspondientes sensores.

Figura 1. Malla del Cultivo



Fuente: Malla cultivo de tomate bajo invernadero, Exsis Software y Soluciones SAS, 2012

7.2 Gestión del registro de campo

Se llevarán los registros de cada una de las actividades realizadas en la producción en formato digital, tomando como base los puntos de control de las buenas prácticas agrícolas. Con la ventaja de consultar esta información en cualquier momento y lugar vía internet (Ver Anexo A).

7.3 Monitoreo de cultivo mediante sensores

Se implementará una serie de sensores que medirán diversas variables con el fin de obtener datos para realizar un completo análisis de los mismos y así realizar acciones ya sean correctivas para el bienestar del cultivo. En cada sector de la malla debe ser posible registrar datos de variables del suelo, clima, nutrientes disponibles y condiciones del cultivo.

7.3.1 Variables a medir

- Humedad del suelo.
- Humedad relativa.
- Temperatura ambiente.
- Radiación solar.
- Presión atmosférica.
- Pluviometría.
- Dirección del viento.
- Velocidad del viento.

7.3.2 Registro y control de variables

Es posible llevar un registro de las variables monitoreadas, lo que permite tomar decisiones de manejo del cultivo, logrando así que este permanezca en las condiciones óptimas de producción.

- **Riego:** Se generan recomendaciones basadas en la curva de retención de humedad del suelo y las mediciones de los sensores de humedad.
- **Temperatura:** Según los rangos óptimos definidos para cada cultivo se generan alertas una vez la medición este fuera de rango.
- **Humedad relativa:** Se generan alertas para aplicar correctivos.

7.4 Reportes

En cualquier etapa del ciclo productivo del cultivo, será posible obtener reportes de las actividades que se han realizado hasta ese momento. Los reportes se presentarán en formato alfanumérico y gráfico por medio del software.

8. DIAGRAMA DE COMPONENTES

Para este proyecto, se implementó un modelo (ver Anexo B) que contiene básicamente dos etapas; la primera es la parte de obtención y envío de datos (componentes hardware), la segunda la conforman la recepción de datos, la creación del software y las correspondientes aplicaciones para los periféricos (componentes software).

8.1 COMPONENTES HARDWARE

8.1.1 Módulos ZigBee

ZigBee es un protocolo de comunicación de redes inalámbricas, y está basado en el estándar IEEE 802.15.4, este protocolo fue implementado debido al bajo consumo de energía que utiliza y a la baja tasa de envío de datos que se maneja en el proyecto, además de la seguridad que este protocolo brinda (Gislason, 2008).

Figura 2. Módulo XBee ZB Pro

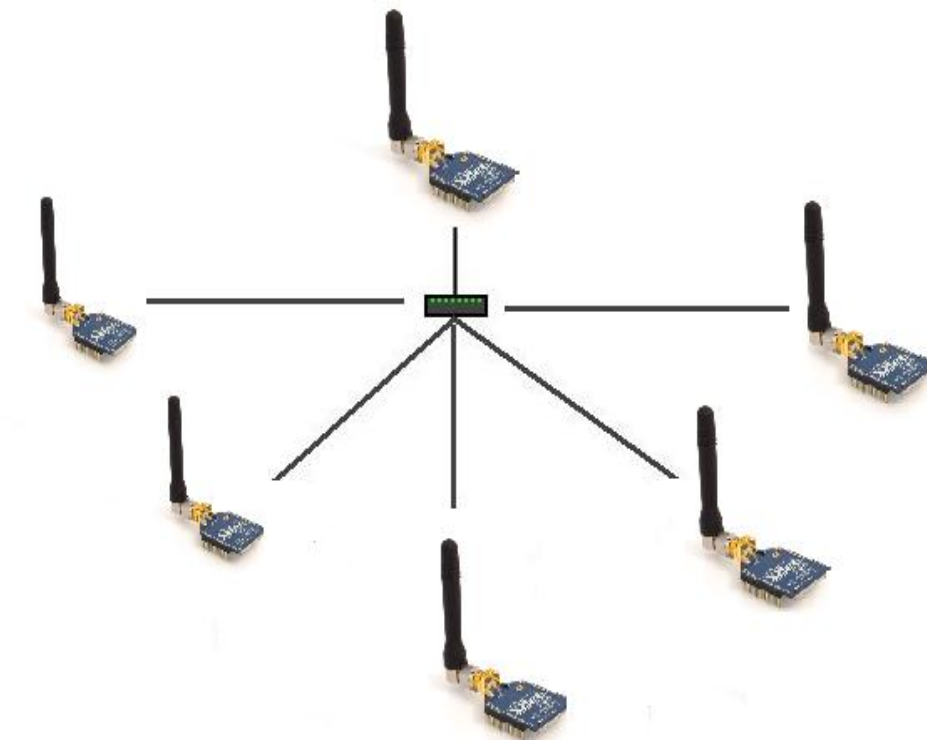


Fuente: Guía Técnica Waspote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2012

Los módulos ZigBee utilizados en el proyecto se obtuvieron a través de la empresa Libelium, el ZigBee utilizado fue el XBee ZB Pro, el cual trabaja a una frecuencia de 2.4 GHz, a una potencia de transmisión de 50mW y a un alcance de 7km con línea de vista y con una antena de 5dBi.

La topología implementada para realizar la comunicación es de estrella.

Figura 3. Topología para módulos ZigBee



Fuente: Guía Técnica Wasmote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2012

8.1.2 Placas Wasmote

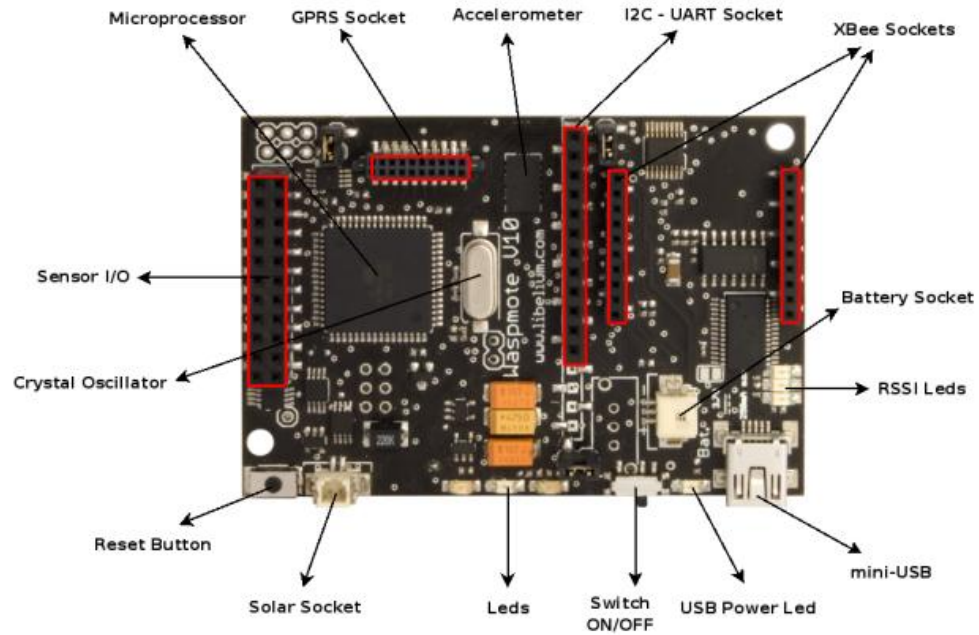
Se basan en una arquitectura modular que permite integrar los módulos que se necesiten en cada dispositivo y así ser capaces de cambiarlos o ampliarlos según las necesidades.

Tabla 1. Especificaciones placa Wasmote

PESO	20 gr
DIMENSIONES	73.5X51X13 mm
RANGO TEMPERATURA	[-20°C-65°C]
FRECUENCIA	8MHz
MICROCONTROLADOR	ATmega1281
FLASH	128KB
EEPROM	4KB
SRAM	8KB
SD CARD	2GB

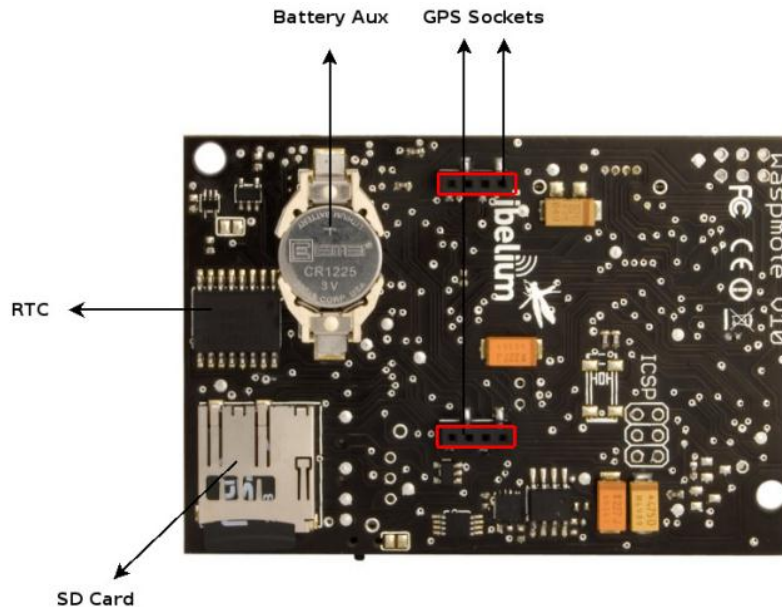
Fuente: Guía Técnica Wasmote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2012

Figura 4. Componentes principales cara superior Placa



Fuente: Guía Técnica Waspote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012

Figura 5. Componentes principales cara inferior Placa Waspote



Fuente: Guía Técnica Waspote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012

En los anexos C y D se encuentran los diagramas de bloques de las señales de datos que maneja la placa waspmote y las señales de alimentación.

Tabla 2. Características Eléctricas- Valores de Funcionamiento

Tensión de batería mínima de funcionamiento	3.3 V
Tensión de batería máxima de funcionamiento	4.2 V
Tensión de carga USB	5 V
Tensión de carga placa solar	6-12 V
Corriente de carga batería por USB	100 mA (máx)
Corriente de carga de batería por placa solar	280 mA (máx)
Tensión de pila de botón	3 V

Fuente: Guía Técnica Waspote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012

Tabla 3. Características Eléctricas- Valores máximos absolutos

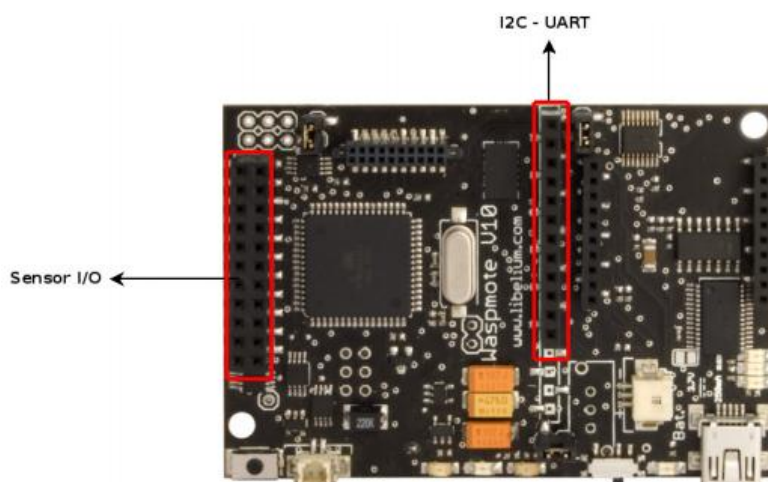
Tensión en cualquier pin	[-0.5 V, +3.8 V]
Corriente máxima por cualquier pin I/O digital	40 mA
Tensión de alimentación USB	7 V
Tensión de alimentación placa solar	18 V
Tensión de batería cargada	4.2 V

Fuente: Guía Técnica Waspote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012

8.1.2.1 Conectores I/O

La placa Waspote puede comunicarse con otros dispositivos externos mediante los diferentes puertos de entrada/salida que posee. Los dispositivos con los que se puede comunicar pueden ser cualquier sensor, componente o módulo electrónico siempre y cuando se respeten las especificaciones requeridas por cada puerto.

Figura 6. Conectores I/O



Fuente: Guía Técnica Waspote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012

Figura 7. Descripción de pines conector de sensores

DIGITAL8	▪	▪	GND
DIGITAL6	▪	▪	DIGITAL7
DIGITAL4	▪	▪	DIGITAL5
DIGITAL2	▪	▪	DIGITAL3
RESERVED	▪	▪	DIGITAL1
ANALOG6	▪	▪	ANALOG7
ANALOG4	▪	▪	ANALOG5
ANALOG2	▪	▪	ANALOG3
SENSOR POWER	▪	▪	ANALOG1
GPS POWER	▪	▪	5V SENSOR POWER
SDA	▪	▪	SCL

Fuente: Guía Técnica Waspote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012

8.1.2.1.1 Analógicas

La placa Waspote dispone de 7 entradas analógicas, cada uno de los conectores están conectados directamente al micro controlador; este utiliza un Conversor Analógico Digital (ADC) de 10 bits lo que permite obtener valores entre 0 y 1023. El valor de tensión de referencia para las entradas es de 0V(GND) y el valor máximo de tensión de entrada es de 3.3V que corresponde con la tensión de alimentación general del micro controlador.

Para obtener el valor de las entradas se utiliza la función “analogRead (entrada analógica)”, donde el parámetro de entrada de la función será el nombre de la entrada que se quiere leer “ANALOG1, ANALOG2, etc.”.

Los pines de entrada analógicos pueden utilizarse también como pines de entrada/salida digitales. Si se quieren usar estos pines como digitales se debe tener en cuenta el nombre de los pines como lo muestra la tabla 4.

Tabla 4. Nombres de pines

ANALÓGICO	DIGITAL
ANALOG 1	14
ANALOG 2	15
ANALOG 3	16
ANALOG 4	17
ANALOG 5	18
ANALOG 6	19
ANALOG 7	20

Fuente: Guía Técnica Waspote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012

8.1.2.1.2 Digitales

La placa Waspote posee 8 pines digitales que pueden ser configurados como entradas o salidas; los valores de tensión son de 0V y 3.3 V, donde el primero corresponde a 0 lógico y el segundo para el 1 lógico.

8.1.2.1.3 PWM (Pulse Width Modulation)

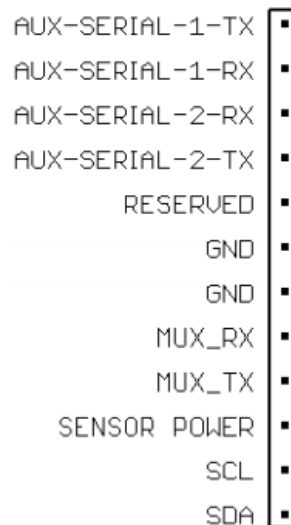
El pin DIGITAL1 se puede usar como salida PWM, con este se puede “simular” una señal analógica, la cual sería una onda cuadrada entre 0 V y 3.3 V en la que se puede cambiar la proporción de tiempo en que la señal está en alto (ciclo útil) de 0% a 100%, donde 0V corresponde a 0% y 3.3V a 100%. La resolución es de 8 bits por lo que se puede configurar hasta 255 valores intermedios entre 0-100%.

La instrucción para controlar la salida PWM es:

AnalogWrite (DIGITAL1, value)

Donde value es el valor analógico (0-255).

Figura 8. Descripción de pines I2C-UART auxiliares



Fuente: Guía Técnica Waspote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012

8.1.2.1.4 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)

En Waspote existen 6 puertos serie:

Una de las UART del micro controlador está conectada simultáneamente al módulo de comunicación ZigBee y al puerto USB. La otra UART del micro controlador está conectada a un multiplexor de cuatro canales, pudiendo seleccionar desde el código cuál de las cuatro UART's se quiere conectar a la UART del micro controlador. Las cuatro UART se encuentran conectadas de la siguiente manera.

Una está conectada a la placa GPRS, otra al GPS y las otras dos quedan accesibles al usuario en el conector I2C – UART auxiliares.

La configuración del multiplexor se lleva a cabo mediante las siguientes instrucciones:

```
{  
setMuxAux1 ();  
setMuxAux2 ();  
SetMuxGPS ();  
SetMuxGPS ();  
}
```

8.1.2.1.5 I2C (Inter-Integrated Circuit)

Es un bus de comunicación, donde se conectan en paralelo tres dispositivos: el acelerómetro, el RTC y el potenciómetro que configura el nivel de umbral de alarma por batería baja. En todos los casos el Microcontrolador actúa como maestro (master) mientras que el resto de los dispositivos conectados al bus actúan como esclavos (slave).

8.1.2.2 RTC (Real Time Clock)

La placa Waspote tiene integrado un reloj de tiempo real, el cual le mantiene informado del momento temporal en el que se encuentra. Esto permite programar a Waspote para realizar acciones relativas en el tiempo tales como:

- **Sleep:** El programa principal se detiene, el micro controlador pasa a un estado de latencia, del que puede ser despertado por diversas interrupciones. El intervalo de duración de este estado es de 32ms a 8s. El consumo en este estado es de 62µA.
- **Deep Sleep:** El programa principal se detiene, el micro controlador pasa a un estado de latencia del que puede ser despertado por todas las interrupciones lanzadas por el

RTC. El intervalo de este ciclo puede ir de 8 segundos a minutos, horas, días. El consumo en este estado es de 62µA.

- **Hibernate:** El programa principal se detiene, el micro controlador y todos los módulos de Wasmote quedan completamente desconectados. La única forma de volver a activar el dispositivo es a través de la alarma previamente programada en el RTC. El intervalo de este ciclo puede ir de 8 segundos a minutos, horas, días. Al quedar el dispositivo totalmente desconectado de la batería principal el RTC es alimentado a través de una batería auxiliar de la que consume 0,7µA (Ver tabla 5).

Toda la programación y control del RTC se hace a través del bus I2C.

Tabla 5. Opciones de programación RTC.

	Consumo	Micro	Ciclo	Interrupciones
ON	9mA	ON	-	Síncronas y Asíncronas
Sleep	62µA	ON	32ms - 8s	Síncrona (Watchdog) y Asíncronas
Deep Sleep	62µA	ON	8s - min/horas/días	Síncrona (RTC) y Asíncronas
Hibernate	0,7µA	OFF	8s - min/horas/días	Síncrona (RTC)

Fuente: Wasmote Power Programming Guide, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

El RTC elegido es el DS3231SN de Maxim, el cual funciona a una frecuencia de 32.768Hz (un valor divisor del segundo que le permite cuantificar y calcular mejor las variaciones temporales), este es uno de los relojes con mayor precisión en el mercado debido al mecanismo interno de compensación de las variaciones de oscilación que se producen en el cristal de cuarzo debidas a los cambios de temperatura (Temperature Compensated Crystal Oscillator - TCXO).

El RTC tiene 2 fuentes de alimentación: batería principal y batería auxiliar. Cuando la placa Wasmote está conectada, el RTC se alimenta a través de la batería principal. Sin embargo, para asegurar que se mantiene siempre con la hora correcta y que estos datos no se borran cuando hay un cambio de batería principal o se acaba la carga de ésta, se ha incluido una batería auxiliar que alimenta al RTC cuando la principal no puede hacerlo (© Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012).

8.1.3 Placas de Integración de Sensores

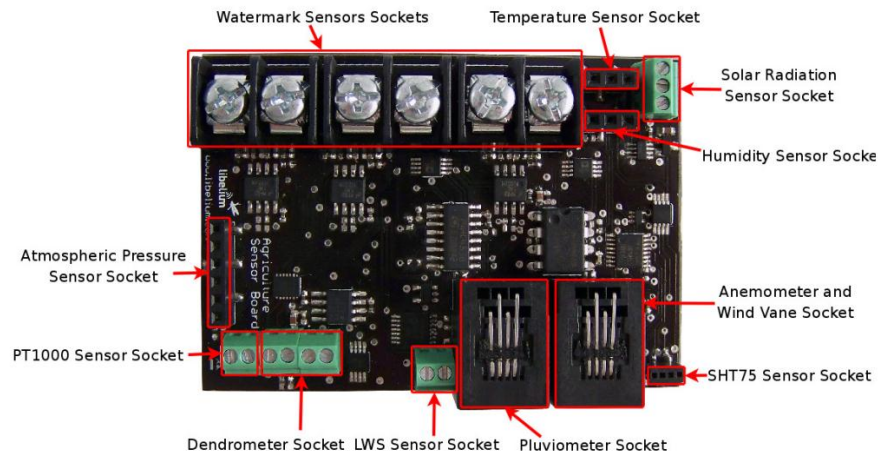
Libelium ha desarrollado varias placas de integración de sensores que facilitan la conexión de los mismos con la unidad de procesamiento (placa Wasmote).

En este caso se utilizó la placa de agricultura.

8.1.3.1 Placa de Agricultura

La Placa de Agricultura para Waspote permite la monitorización de multitud de parámetros ambientales, desde análisis del desarrollo de cultivos hasta observación del clima. Para ello, dispone de sensores para humedad y temperatura ambiente, humedad y temperatura de suelo, radiación solar, velocidad y dirección del viento, precipitaciones, presión atmosférica, humectación de hoja y diámetro de tronco o fruto (dendrómetro); pudiendo conectarse hasta 14 sensores simultáneamente. Con el fin de proporcionar la mayor durabilidad sobre el terreno.

Figura 9. Placa de Agricultura



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Tabla 6. Características eléctricas placa Agricultura

Tensiones de alimentación de la placa	3.3 V y 5 V
Tensión de alimentación de los sensores	3.3 V y 5 V
Intensidad máxima admitida (continua)	200 mA
Intensidad máxima admitida (pico)	400 mA

Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

8.1.4 Sensores

La aplicación de los sensores se determinó según los estudios encontrados teniendo en cuenta cuales eran las variables más representativas y con mayor correlación en los procesos de crecimiento en la planta, así mismo la medición de variables meteorológicas en la zona es una forma de obtener información valiosa sobre los ciclos climáticos, por

ello, se optó por utilizar una placa con la opción de medir velocidad y dirección de viento, radiación solar, pluviometría, además de la humedad relativa y la temperatura incorporadas.

8.1.4.1 Sensor de Presión Atmosférica (MPX4115A)

Figura 10. Sensor MPX4115A



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

El sensor MPX4115A convierte la presión atmosférica en un voltaje analógico de valor comprendido en un rango entre 0.2V y 4.8V. Al tratarse de un rango que excede el valor máximo admitido por Waspote se ha adaptado su salida a un rango entre 0.12V y 2.88V. Para realizar la lectura, se captura el valor analógico en el pin de entrada (ANALOG3) mediante el siguiente comando:

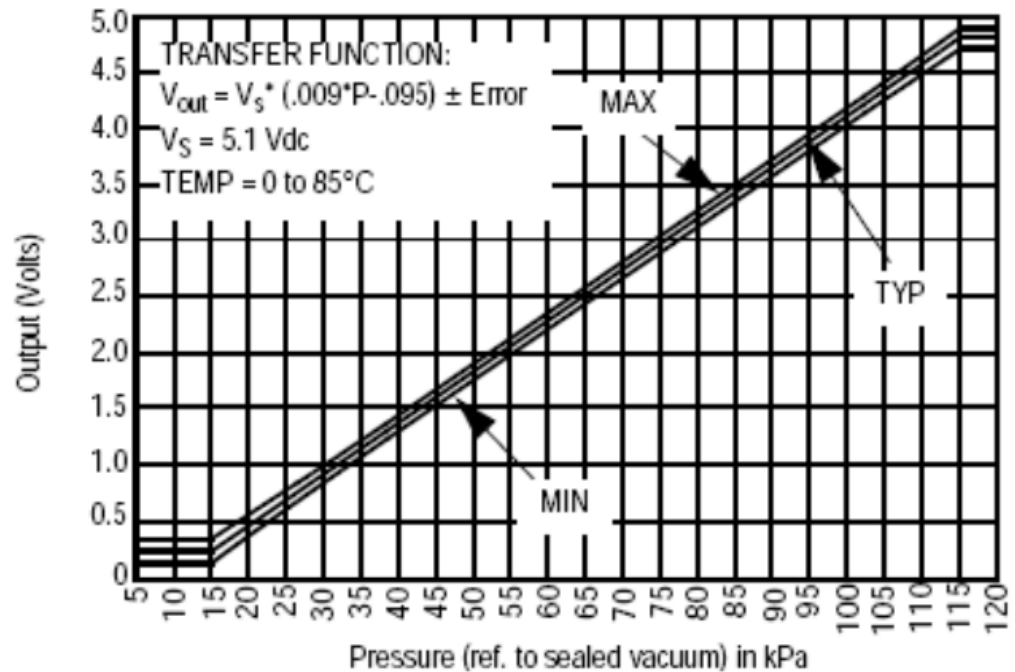
```
SensorAgr.readValue (SENS_AGR_PRESSURE)
```

Tabla 7. Especificaciones Sensor Presión Atmosférica

Rango de medida	15 ~ 115kPa
Señal de salida	0,2 ~ 4,8V (0 ~ 85°C)
Sensibilidad	46mV/kPa
Precisión	<±1,5%V (0 ~ 85°C)
Consumo típico	7mA
Consumo máximo	10mA
Alimentación	4.85 ~ 5.35V
Temperatura de operación	-40 ~ +125°C
Temperatura de almacenamiento	-40 ~ +125°C

Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

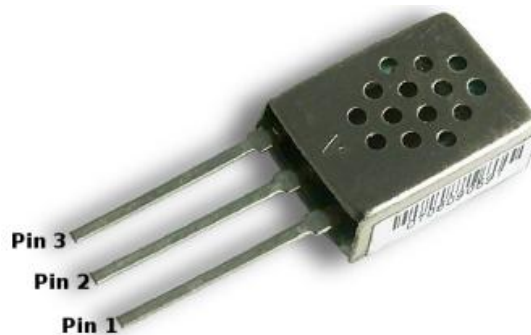
Figura 11. Tensión de salida con respecto a la presión



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

8.1.4.2 Sensor de Humedad Ambiente (808H5V5)

Figura 12. Sensor 808H5V5



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Es un sensor analógico que entrega una salida en tensión proporcional a la humedad relativa en el ambiente (ver figura 13), ya que el rango de señal del sensor queda fuera del permitido, a la entrada de Wasmote se ha adaptado la salida a un rango de valores entre 0.48V y 2.34V.

La lectura de este se realiza a través del pin de entrada analógica ANALOG2, en el cuál se accede a través de un multiplexor cuya entrada comparte con el conector para el sensor Watermark 1 y cuya salida se selecciona a través del pin digital DIGITAL3, mientras que su alimentación de 5V está regulada a través de un switch activado por el pin DIGITAL5, que controla simultáneamente los sensores de radiación solar, temperatura ambiente, temperatura y humedad ambiente, humectación de hoja y dendrómetro.

El comando para realizar la lectura de este sensor es:

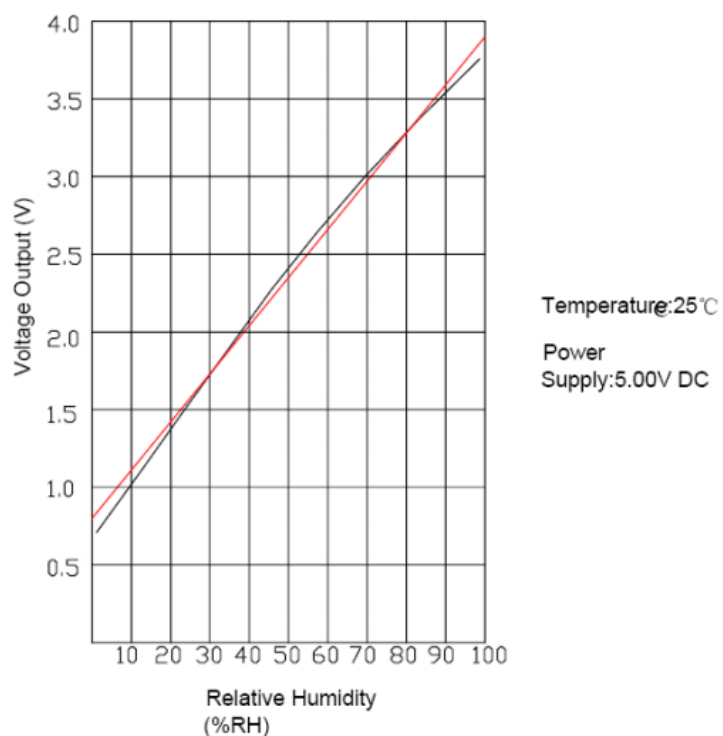
SensorAgr.readValue (SENS_AGR_HUMIDITY)

Tabla 8. Especificaciones sensor 808H5V5

Rango de medida	0 ~ 100%RH
Señal de salida	0,8 ~ 3.9V (25°C)
Sensibilidad	46mV/kPa
Precisión	<±4%RH (a 25°C, rango 30 ~ 80%), <±6%RH (rango 0 ~ 100))
Consumo típico	0.38mA
Consumo máximo	0.5mA
Alimentación	5VDC ±5%
Temperatura de operación	-40 ~ +85°C
Temperatura de almacenamiento	-55 ~ +125°C
Tiempo de respuesta	<15 segundos

Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Figura 13. Voltaje con respecto a humedad relativa



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

8.1.4.3 Sensor de Temperatura Ambiente (MCP9700A)

Figura 14. Sensor MCP9700A



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Es un sensor analógico que convierte un valor de temperatura en un voltaje analógico proporcional. El rango de tensiones a su salida se encuentra entre 100mV (-40°C) y 1.75V (125°C), lo que resulta de una variación de 10mV/°C, con 500mV de salida para 0°C.

De este modo, la salida puede leerse directamente desde la placa Waspote mediante el comando de captura del valor analógico del pin ANALOG4, al que está conectado a través de un multiplexor al que accede también el sensor Watermark 3 y cuya salida puede seleccionarse mediante el pin digital DIGITAL3.

La alimentación de 5V del sensor está regulada mediante un switch digital que permite su activación y desconexión desde el microprocesador utilizando el pin digital DIGITAL5.

El comando que permite leer este dato es:

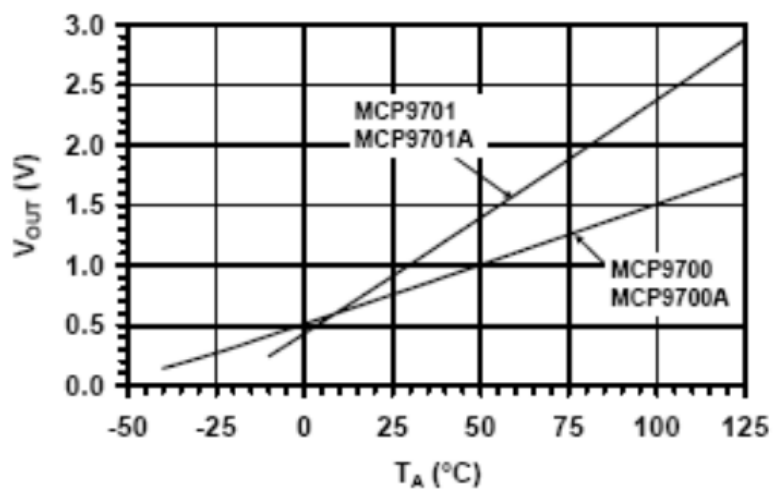
SensorAgr.readValue (SENS_AGR_TEMPERATURE)

Tabla 9. Especificaciones sensor MCP9700A

Rango de medida	-40°C ~ +125°C
Señal de salida (0°C)	500mV
Sensibilidad	10mV/°C
Precisión	±2°C (rango 0°C ~ +70°C),
Consumo típico	6µA
Consumo máximo	12µA
Alimentación	2.3 ~ 5.5V
Temperatura de operación	-40 ~ +125°C
Temperatura de almacenamiento	-65 ~ +150°C
Tiempo de respuesta	1.65 segundos (63% de respuesta de +30 a +125°C)

Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Figura 15. Tensión de salida del sensor con respecto a temperatura



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

8.1.4.4 Sensor de Humedad de Tierra (Watermark)

Figura 16. Sensor Watermark



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Es un sensor de tipo resistivo formado por dos electrodos altamente resistentes a la corrosión contienen un relleno granular bajo una capa de yeso. El valor de resistencia de este sensor es proporcional a la tensión de agua en el suelo (ver figura 17), y refleja la presión necesaria para extraer el agua de la tierra.

El comando para leer el dato arrojado por el sensor es:

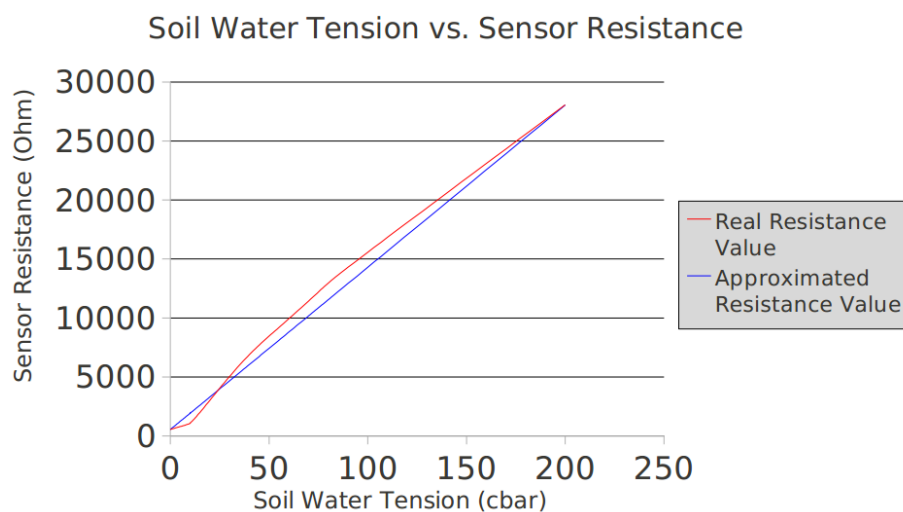
`SensorAgr.readValue (SENS_AGR_WATERMARK_#)`

Tabla 10. Especificaciones sensor de humedad de tierra

Rango de medida	-0 ~ 200cb
Rango de frecuencia	50 ~ 10000Hz aproximadamente
Diámetro	22mm
Longitud	76mm

Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Figura 17. Resistencia sensor en función a la tensión del agua en el suelo



Fuente: Watermark Sensors Interpretation Reference, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012

8.1.4.5 Sensor de Radiación Solar (SQ-110)

Figura 18. Sensor SQ-110



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

El sensor SQ-110 presenta una salida en tensión proporcional a la intensidad de luz en el espectro visible, específicamente calibrado para detección de radiación solar (uno de los parámetros claves en el proceso de la fotosíntesis).

Presenta un valor máximo de 400mV de salida en condiciones de máxima radiación, con una sensibilidad de $5.00\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}/\text{mV}$. Con el fin de mejorar la precisión de la lectura, ésta se realiza mediante un conversor analógico-digital de 16 bits que se comunica con el microprocesador del mote a través del bus I2C.

La alimentación de 5V de esta etapa está controlada a través de un switch digital que puede activarse y desactivarse mediante el pin de salida de Wasmote DIGITAL5.

El comando para realizar la lectura es:

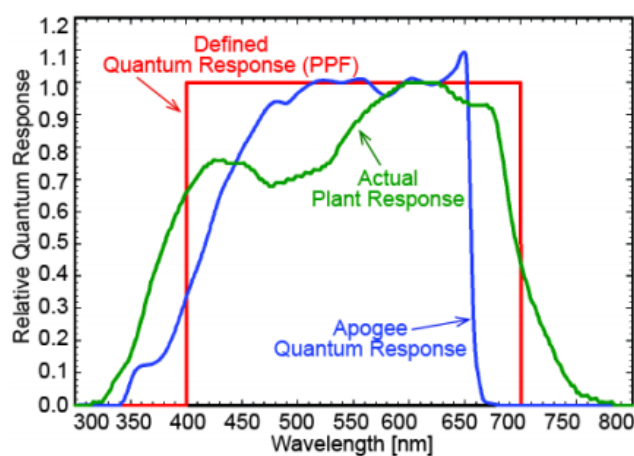
```
SensorAgr.readValue(SENS_AGR_RADIATION)
```

Tabla 11. Especificaciones sensor SQ-110

Responsividad	0.200mV por $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
Salida en radiación máxima	400mV ($2000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
Sensibilidad	$5.00\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}/\text{mV}$
Rango espectral	400 ~ 700nm
Precisión	$\pm 5\%$
Díámetro	2.4c
Altura	2.75cm
Longitud del cable	3m
Temperatura de operación	-40 ~ 55°C
Humedad de operación	0 ~ 100%RH

Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Figura 19. Respuesta espectral de sensor con respecto a la respuesta fotosintética de una planta



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

8.1.4.6 Estación Meteorológica

La estación meteorológica se compone de tres sensores diferentes, una veleta, un anemómetro y un pluviómetro. La conexión a Wasmote se realiza a través de dos conectores RJ11, uno para el pluviómetro y otro compartido por la veleta y anemómetro.

Figura 20. Estación Meteorológica



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

8.1.4.6.1 Anemómetro

Figura 21. Anemómetro



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Está formado por un switch normalmente abierto que se activa un pequeño tiempo cada vez que las aspas del anemómetro completan un giro, de modo que se obtiene a la salida una señal digital de pulsos cuya frecuencia es proporcional a la velocidad del viento. Dicha señal puede ser leída a través de uno de los pines analógicos de Waspmote (ANALOG7), toda vez que es convertida en una tensión analógica proporcional a su frecuencia. La alimentación de este sensor junto con la electrónica que le acompaña puede conectarse y desconectarse con un switch controlado por la señal ANALOG1.

El comando para leer el dato proveniente del anemómetro es:

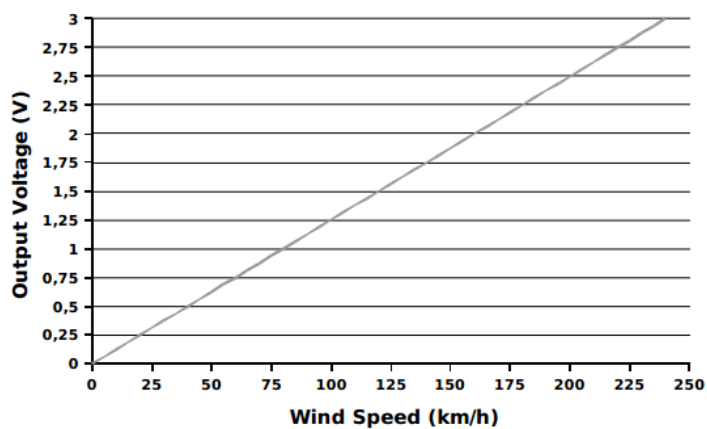
SensorAgr.readValue (SENS_AGR_ANEMOMETER)

Tabla 12. Especificaciones Anemómetro

Sensibilidad	2.4km/h/ vuelta
Rango de velocidad del viento	0-240km/h
Altura	7.1 cm
Long de brazo	8.9cm
Conector	Rj11

Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Figura 22. Tensión de salida del Anemómetro en función a la velocidad del viento



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

8.1.4.6.2 Veleta

Figura 23. Veleta



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

La veleta está constituida por una base que gira libremente sobre una plataforma dotada de una red de ocho interruptores conectados a ocho resistencias diferentes que permanecen abiertos normalmente, y que se cierran (uno o, como máximo, dos al mismo tiempo) cuando un imán colocado en la base actúa sobre ellos, lo que nos permite distinguir hasta 16 posiciones diferentes (el equivalente a una resolución de 22.5°). La resistencia equivalente de la veleta conforma junto con una resistencia de 10kΩ un divisor de tensión alimentado a 3.3V a través de un switch digital controlado mediante el pin ANALOG1, cuya salida puede leerse en la entrada analógica de Wasp mote ANALOG5.

Tabla 13. Especificaciones Veleta

Altura	8.9 cm
longitud	17.8 cm
Precision maxima	22.5°
Rango de resistencia	688Ω-120kΩ
Conector	Rj11

Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Tabla 14. Valores que puede tomar la resistencia equivalente de la red en función de la dirección que señale la veleta

Dirección (Grados)	Resistencia (kΩ)	Tensión (V)
0	33	2.53
22.5	6.57	1.31
45	8.2	1.49
67.5	0.891	0.27
90	1	0.3
112.5	0.688	0.21
135	2.2	0.59
157.5	1.41	0.41
180	3.9	0.92
202.5	3.14	0.79
225	16	2.03
247.5	14.12	1.93
270	120	3.05
292.5	42.12	2.67
315	64.9	2.86
337.5	21.88	2.26

Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

El comando que permite realizar la lectura de datos tomados por la veleta es:

`SensorAgr.readValue (SENS_AGR_VANE)`

8.1.4.6.3 Pluviómetro

Figura24. Pluviómetro



Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

Está formado por un cubilete que cierra momentáneamente un interruptor cada vez que se llena (~ 0.28mm) vaciándose de manera automática. El resultado es una señal de pulsos digitales cuya frecuencia es proporcional a la intensidad de lluvia.

El sensor está conectado directamente a la entrada de Waspote DIGITAL2 a través de una resistencia de pull up, así como al pin de interrupción TXD1, permitiendo la activación de una interrupción del microprocesador al detectar la precipitación. No se ha introducido ningún elemento de control de alimentación para este sensor, pues presenta un consumo nulo(© Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012).

El comando para obtener el dato es:

`SensorAgr.readValue (SENS_AGR_PLUVIOMETER)`

Tabla 15. Especificaciones Pluviómetro

Altura	9.05 cm
Longitud	23 cm
Capacidad del cubilete	0.28mm de lluvia
Rango de resistencia	688Ω-120kΩ
Conector	Rj11

Fuente: Guía Técnica Placa de Agricultura, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2011

8.1.5 Meshlium

Es un Router Linux que contiene hasta 5 radios diferentes: WiFi 2.4GHz, WiFi 5GHz, GPRS, Bluetooth y ZigBee. Meshlium también puede integrar un módulo GPS para aplicaciones móviles y ser alimentado a través de batería o placa solar. Estas características junto con su carcasa de aluminio IP65 permiten a Meshlium ser colocado en cualquier lugar exterior. Meshlium viene con el Manager System, una aplicación web que permite controlar de forma rápida y sencilla la configuración WiFi, ZigBee, GPRS o Bluetooth, así como las opciones de almacenamiento para los datos recibidos de los sensores.

Figura 25. Meshlium



Fuente: Guía Técnica Meshlium, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., 2012

8.1.5.1 Especificaciones:

- Procesador: 500MHz (x86)
- Memoria RAM: 256MB (DDR)
- Memoria de disco: 8GB
- Potencia: 5W (18V)
- Fuente de alimentación: POE (Power Over Ethernet)
- Consumo normal de Corriente: 270mA
- Consumo de alta corriente: 450 mA
- Máxima corriente de alimentación: 1.5 A
- Carcasa:
 - Material: Aluminio
 - Dimensiones: 210x175x50mm
 - Peso: 1.2Kg
 - Protección externa: IP65
- Rango de Temperatura: -20°C/50°C

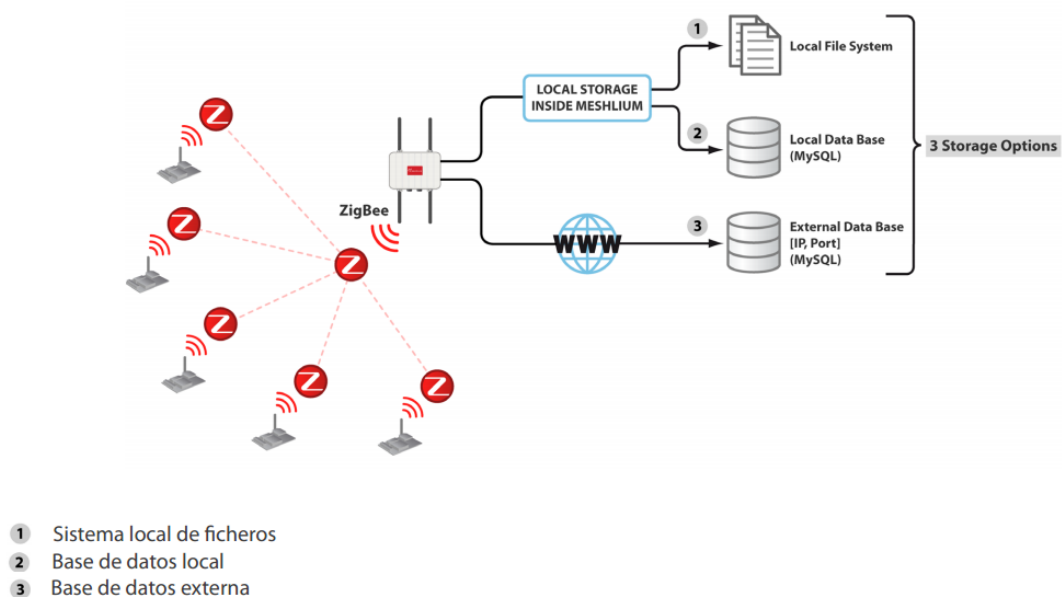
- Tiempo de respuesta a “ping” sobre Ethernet: 60s
- Tiempo para tener todos los servicios funcionando: 90s
- Tipos de alimentación para POE:
 - AC-220V
 - Batería-panel solar (DC-12V)
 - Mechero carro (DC-12V)
- Sistema: Linux, Debian. OLSR Mesh protocolo de comunicación. Drivers Madwifi.
- Software de configuración: Meshlium Manager System (open source)
- Seguridad: Autenticación WEP, WPA-PSK, HTTPS y SSH Access.

8.1.5.2 Comunicaciones Inalámbricas:

- **Radio WiFi AP-2.4GHz**
 - Chipset: Atheros AR5213A-IEEE 802.11
 - Potencia-Tx: 100mW-20dBm
 - Distancia: 500m, depende de la línea de vista.
- **ZigBee Radio**
 - Modelo: XBee-PRO-Digimesh
 - Frecuencia: 2.4 GHz
 - Potencia-Tx: 100mW
 - Sensibilidad Rx: -100dBm
 - Antena: 5dBi Dipolo
 - Distancia: 7km, depende de la línea de vista.
- **Módulo 3G/GPRS**
 - Protocolos: 3G, WCDMA, HSPA, UMTS, GPRS, GSM
 - Quad Band: 850MHz/900MHz/1900MHz/2100MHz
 - Potencia de Salida:
 - UMTS 850/900/1900/2100: 0.25W
 - GSM850/ GSM1900: 1W
 - Velocidad Rx: 7.2Mb/s
 - Velocidad Tx: 5.5Mb/s
 - Antena: 3dBi

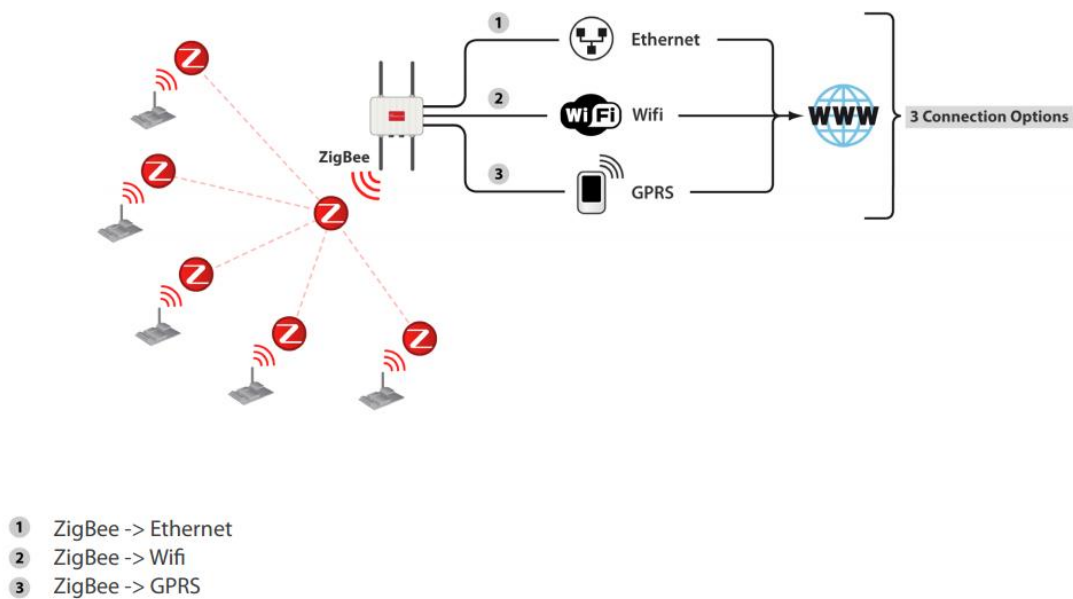
(Libelium, 2011)

Figura 26. Opciones de almacenamiento de Meshlium



Fuente: Redes sensoriales inalámbricas con Wasp mote y Meshlium, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2011

Figura 27. Opciones de Conexión de Meshlium



Fuente: Redes sensoriales inalámbricas con Wasp mote y Meshlium, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2011

8.2 COMPONENTES SOFTWARE

8.2.1 Base de Datos

Las bases de datos que se utilizaron para almacenar los datos son MySQL Server 5.10 y Microsoft SQL Server 2008 R2, debido a que el concentrador Meshlium® está configurado para reportar a un motor de base de datos en MySQL se modificaron los archivos correspondientes a la inserción de los datos para que se acoplara al modelo de datos que cuenta con las características necesarias para almacenar eficientemente cada uno de las medidas que se toman en las placas Waspnote.

8.2.1.1 MySQL

El modelo de datos en el que se guardan las medidas tomadas de los sensores cuenta con dos entidades, la primera de ellas es una entidad donde se guarda el tipo de variable, contemplando su nombre, el rango posible de valores que pueda asumir, lo que previene la inserción de datos atípicos en la base de datos, y en la segunda se guardan las medidas que reportaron los sensores, tomando como llave foránea el identificador de la tabla de tipos de variables.

8.2.1.2 MSSQL

Debido al requerimiento de la empresa en desarrollar el aplicativo web utilizando tecnologías Microsoft, se implemento el modelo de datos descrito para la base de datos MySQL también para Microsoft SQL Server 2008®, esto con el objetivo de hacer más fácil la conexión con la base de datos desde **ASP.NET**(la principal tecnología Microsoft que se usa para desarrollar este tipo de aplicaciones). El modelo de datos no sufrió ningún tipo de alteración que el implementado con MySQL.

8.2.1.3 Sincronización de datos

Uno de los retos al implementar dos modelos de datos diferentes es mantenerlos sincronizados, para llevar a cabo esta tarea se desarrollo un servicio Windows que vigila los cambios que se realizaron en la base de datos MySQL, que es la base de datos por defecto donde el concentrador inserta los datos, y realiza las mismas inserciones a la base de datos Microsoft SQL Server 2008, el servicio se desarrollo de tal manera que se vigilen los cambios que se realicen a la base de datos cada 30 segundos, sin embargo, este parámetro puede ser modificado fácilmente para realizar la sincronización de los datos en un periodo diferente de tiempo.

9. CONFIGURACIÓN DE LOS COMPONENTES DE HARDWARE

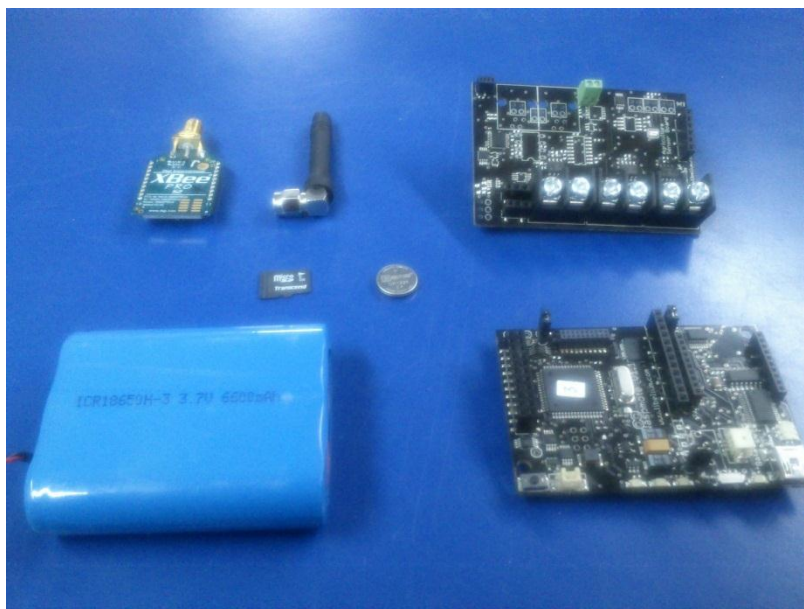
9.1 WASPMOTE

9.1.1 Ensamble de Módulos

Los elementos básicos para realizar la configuración de hardware en una placa Waspote son (Ver figura 28):

- Batería de 6600 mAh
- Batería Auxiliar de 3 V
- SD Card de 2 GB
- Módulo XBee PRO S2
- Antena de 2.4 GHz
- Placa de Agricultura

Figura 28. Elementos de configuración de hardware para Waspote



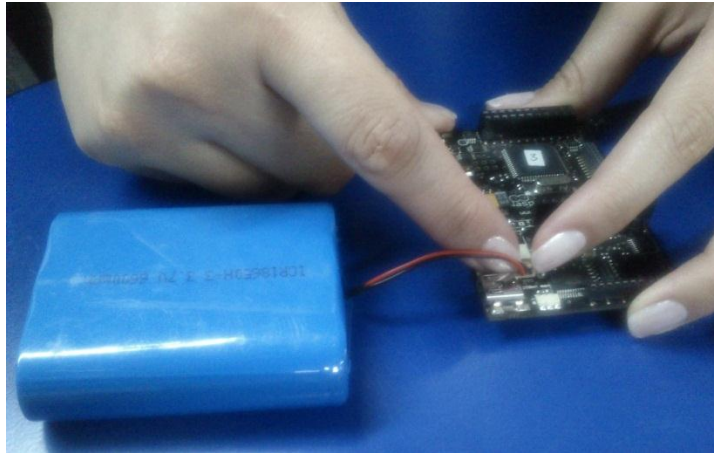
Fuente propia.

Para ensamblar cada elemento, se deben seguir los siguientes pasos:

Paso 1:

Conectar la batería de 6600 mAh a la placa Waspote, teniendo en cuenta que esta debe estar cargada previamente por lo menos 24 horas.

Figura 29. Conexión batería 6600 mAh a la placa Waspote

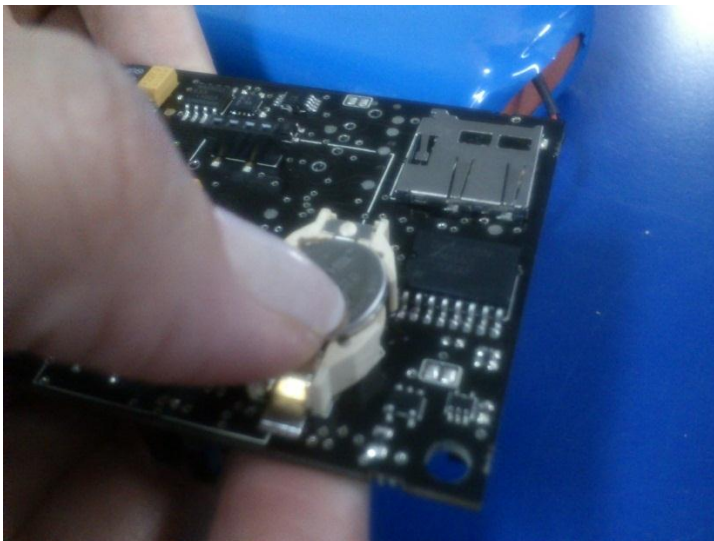


Fuente propia

Paso 2:

Conectar la batería Auxiliar a la placa Waspote.

Figura30. Conexión batería Auxiliar

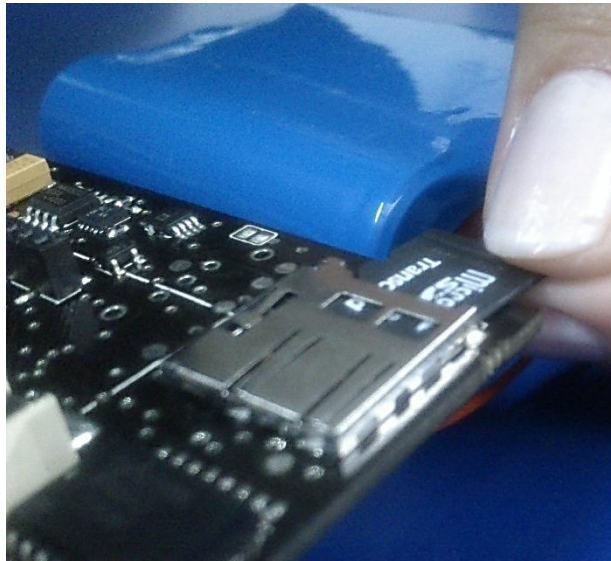


Fuente propia

Paso 3:

Conectar la tarjeta SD.

Figura31. Conexión tarjeta SD

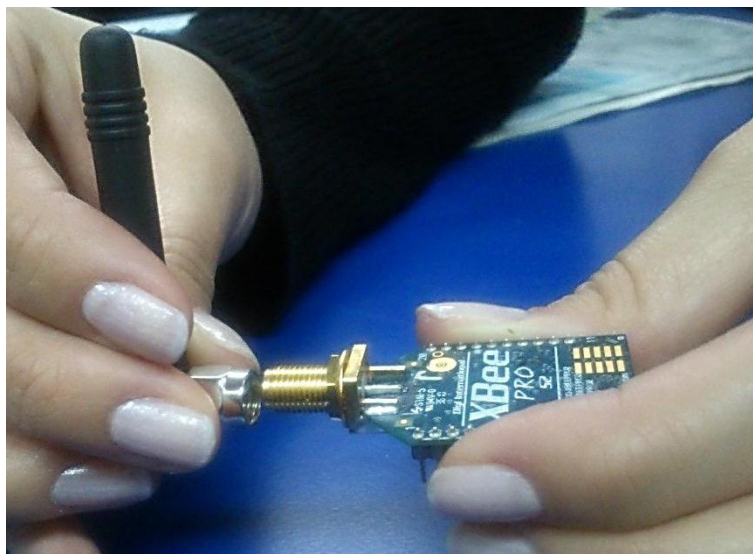


Fuente propia

Paso 4:

Conectar la antena de 2.4 GHz al módulo XBee PRO S2 (Ver figura 32).

Figura 32. Conexión antena de 2.4 GHz al módulo XBee

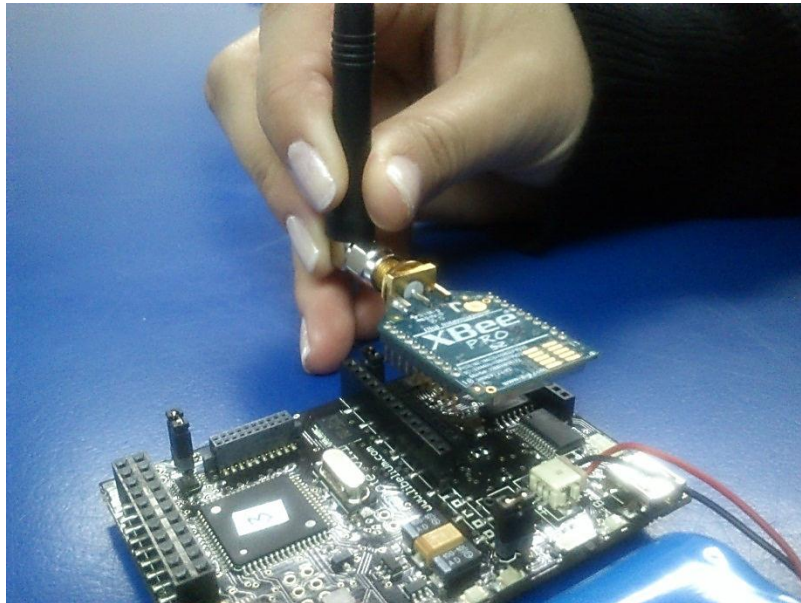


Fuente propia.

Paso 5:

Conectar el módulo XBee a la placa Wasp mote.

Figura 33. Conexión módulo XBee a la placa



Fuente propia.

Figura 34. Ensamblaje parcial del proceso.

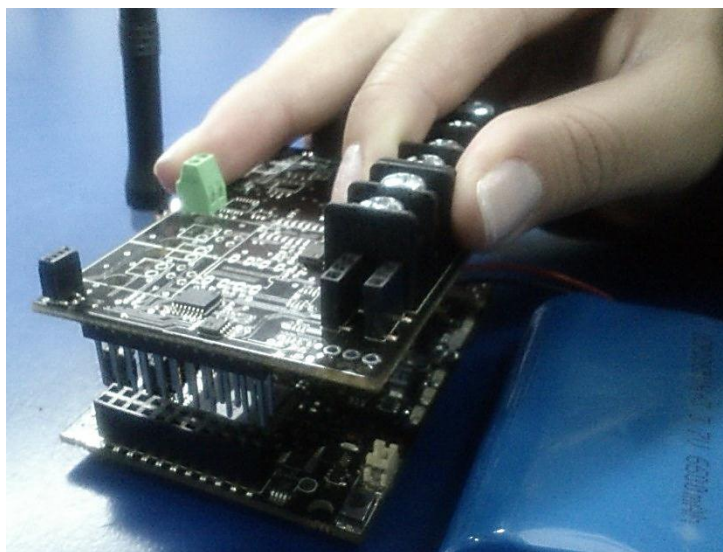


Fuente propia.

Paso 6:

Montar la placa de agricultura en la placa Wasp mote.

Figura 35. Montaje placa agricultura en placa Wasp mote

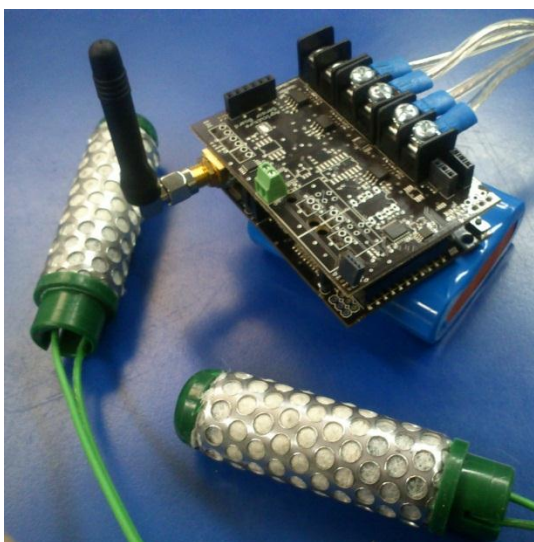


Fuente propia

Paso 7:

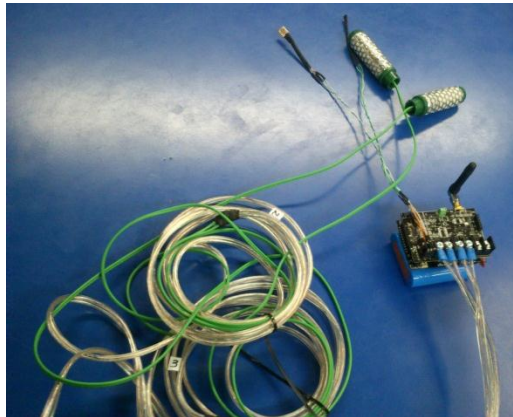
Conectar los sensores.

Figura 36. Conexión sensores de humedad de suelo



Fuente propia

Figura 37. Conexión sensores de humedad ambiente, temperatura y humedad de suelo

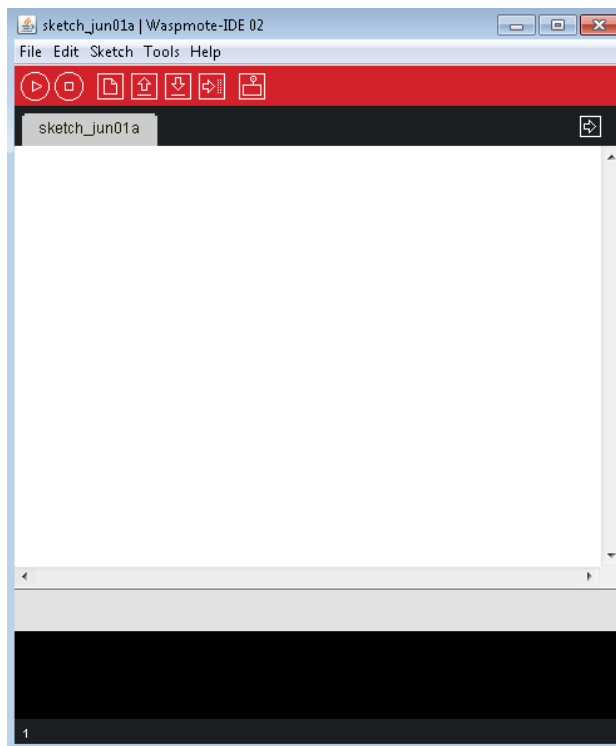


Fuente propia

9.1.2 ENTORNO DE PROGRAMACIÓN

Para realizar la programación de la placa Wasmote, es necesario utilizar el IDE de Wasmote, este trabaja con lenguaje de programación JAVA y está basado en processing.

Figura 38. Wasmote IDE



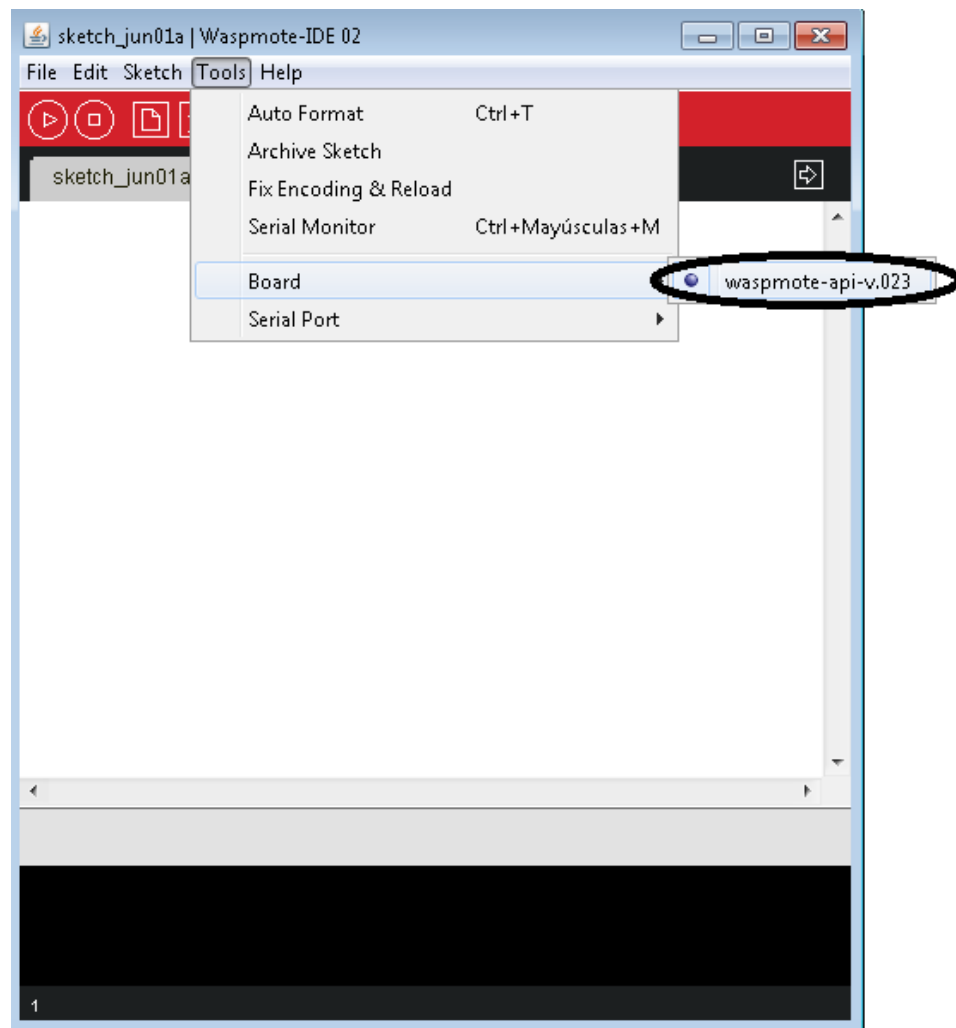
Fuente propia

Para configurar las opciones de este entorno de desarrollo se deben seguir los siguientes pasos:

Paso 1:

Seleccionar el menú herramientas del IDE y escoger la opción board (Ver figura 39).

Figura 39. Menú herramientas IDE Waspnote

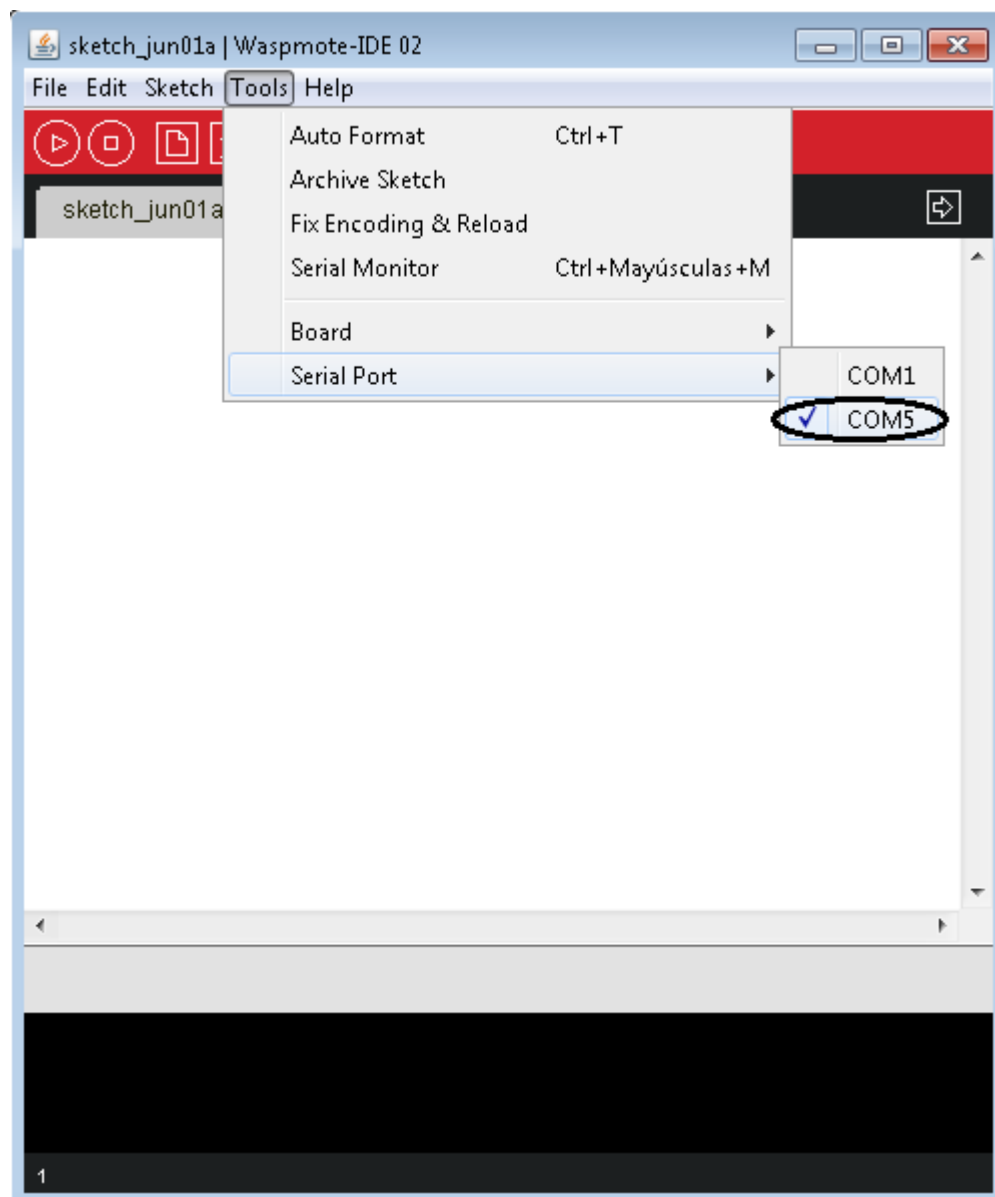


Fuente propia

Paso 2:

Seleccionar el puerto serial con el que se va a trabajar.

Figura 40. Selección puerto serial



Fuente propia.

Paso 3:

Realizar el programa que se implementará en las placas Wasp mote.

Paso 4:

Verificación de la sintaxis del código.

Figura 41. Verificación sintaxis del código

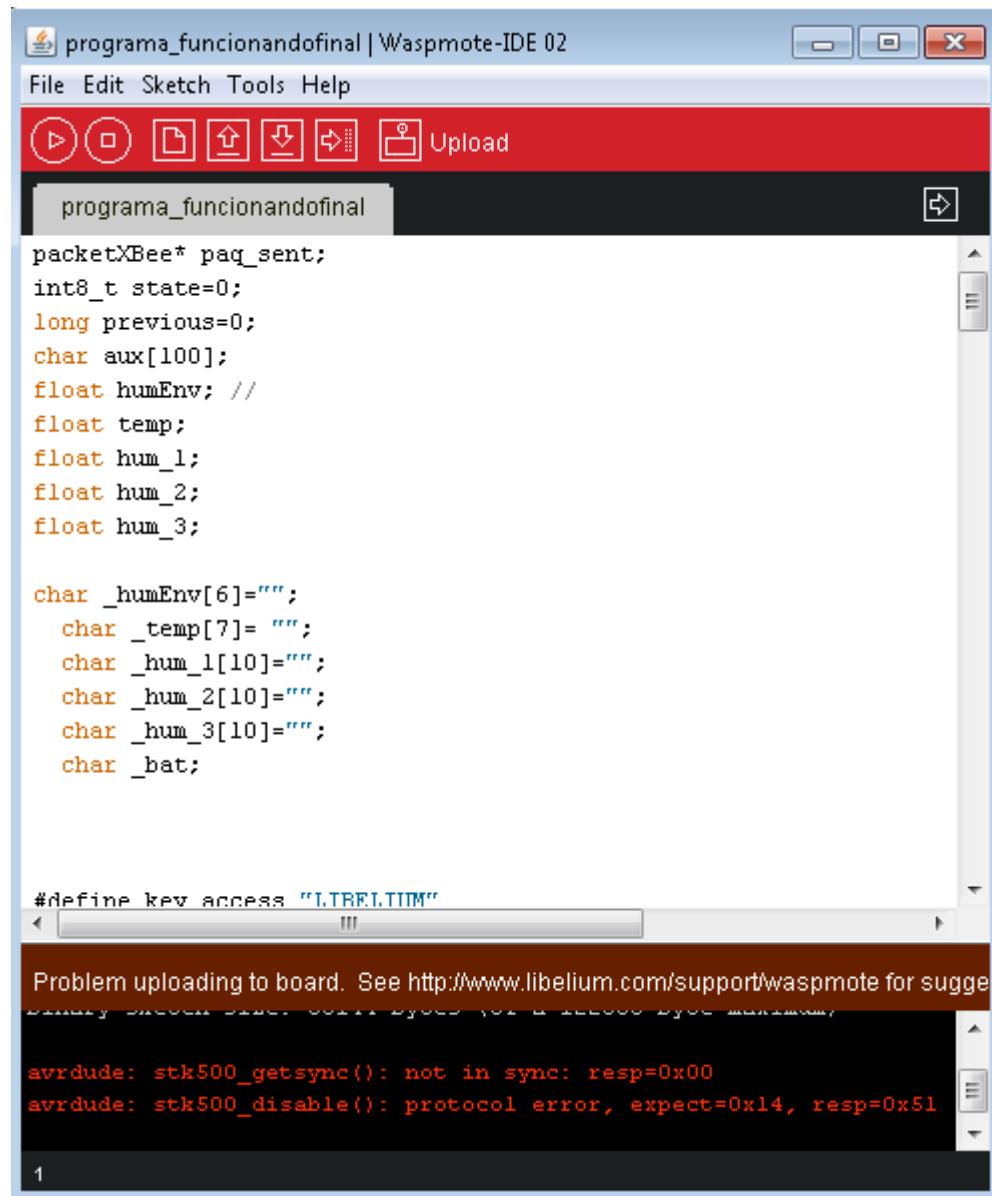


Fuente propia.

Paso 4:

Cargar el código; para esto, se requiere desmontar la placa de agricultura y el módulo ZigBee, pues sin esto se generará un error (Ver figura 42).

Figura 42. Error mientras se carga un programa en la placa Waspote



```
programa_funcionandofinal | Waspote-IDE 02
File Edit Sketch Tools Help

[Icons] Upload

programa_funcionandofinal

packetXbee* paq_sent;
int8_t state=0;
long previous=0;
char aux[100];
float humEnv; //
float temp;
float hum_1;
float hum_2;
float hum_3;

char _humEnv[6]="";
char _temp[7]="";
char _hum_1[10]="";
char _hum_2[10]="";
char _hum_3[10]="";
char _bat;

#define key access "LIBELIUM"

Problem uploading to board. See http://www.libelium.com/support/waspote for suggestions.
Primary memory size: 65536 bytes (0x10000) (max 128000 bytes maximum)

avrdude: stk500_getsync(): not in sync: resp=0x00
avrdude: stk500_disable(): protocol error, expect=0x14, resp=0x51

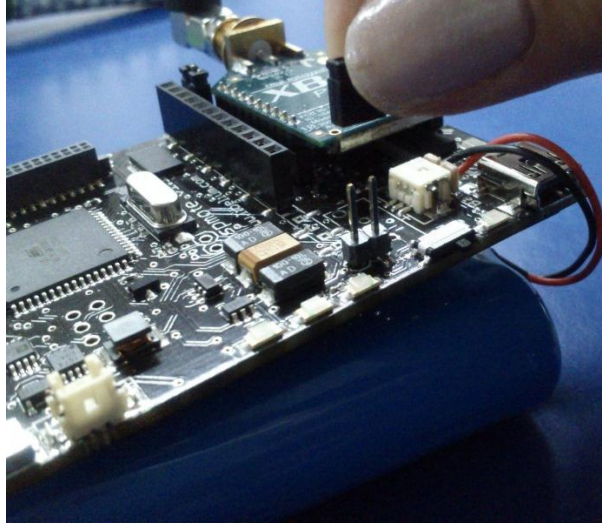
1
```

Fuente propia.

Para el proyecto, se utilizó la opción de hibernación que tiene la placa Waspote, para que esto ocurra, después de que el programa esté cargado, se deje correr por una vez

con todos los módulos ensamblados y luego de esto, se retira la placa de agricultura y posterior a esto, se retira el jumper de hibernación como se muestra en la figura 43.

Figura 43. Retiro jumper de hibernación



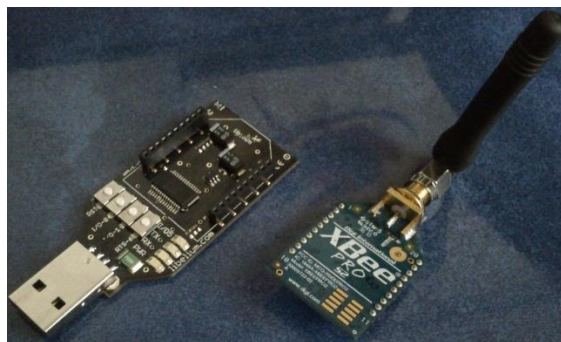
Fuente propia

9.2 ZIGBEE

9.2.1 CONFIGURACIÓN GENERAL

Los módulos ZigBee requieren de un cambio en los parámetros de configuración para permitir el correcto funcionamiento del mismo. El programa que permite esta configuración de parámetros se llama XCT-U; los parámetros se cargan por medio de un dispositivo llamado Gateway el cuál se conecta a un puerto COM del computador.

Figura 44. Gateway



Fuente propia.

A continuación se muestran los pasos a seguir para realizar la configuración de los módulos ZigBee.

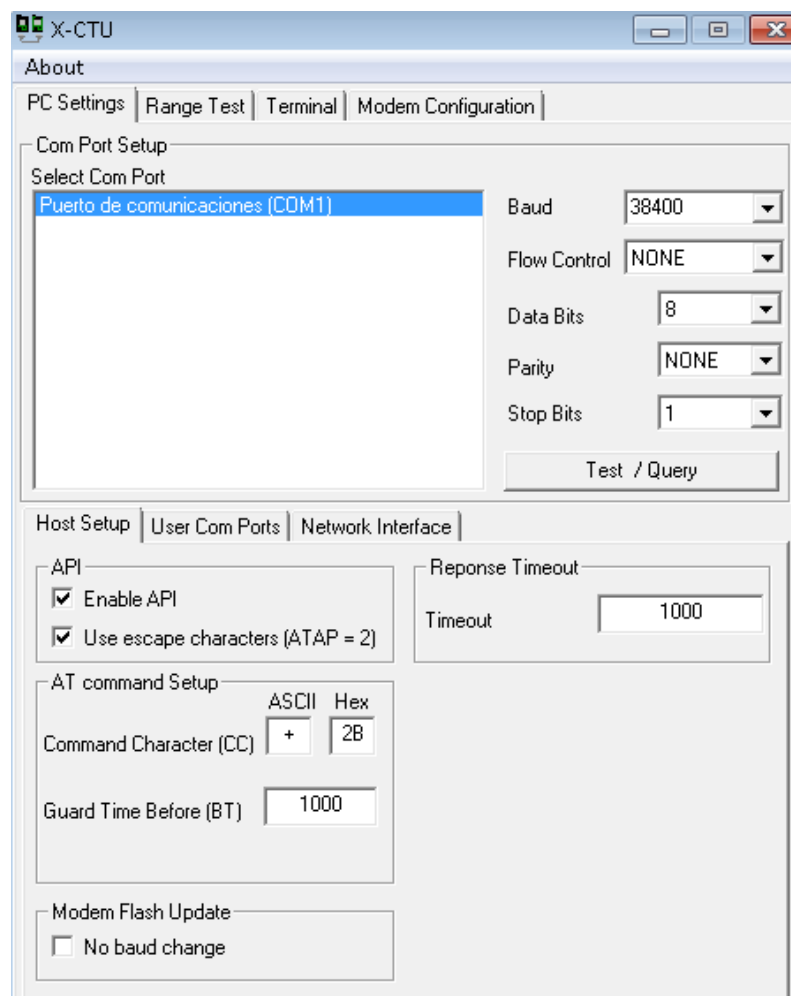
Primer Paso:

Conectar el Gateway con el módulo ZigBee ensamblado.

Segundo Paso:

Ejecutar el programa XCT-U y modificar los parámetros como se observa. (ver figura 45)

Figura 45. Pestaña PC Settings del programa XCT-U

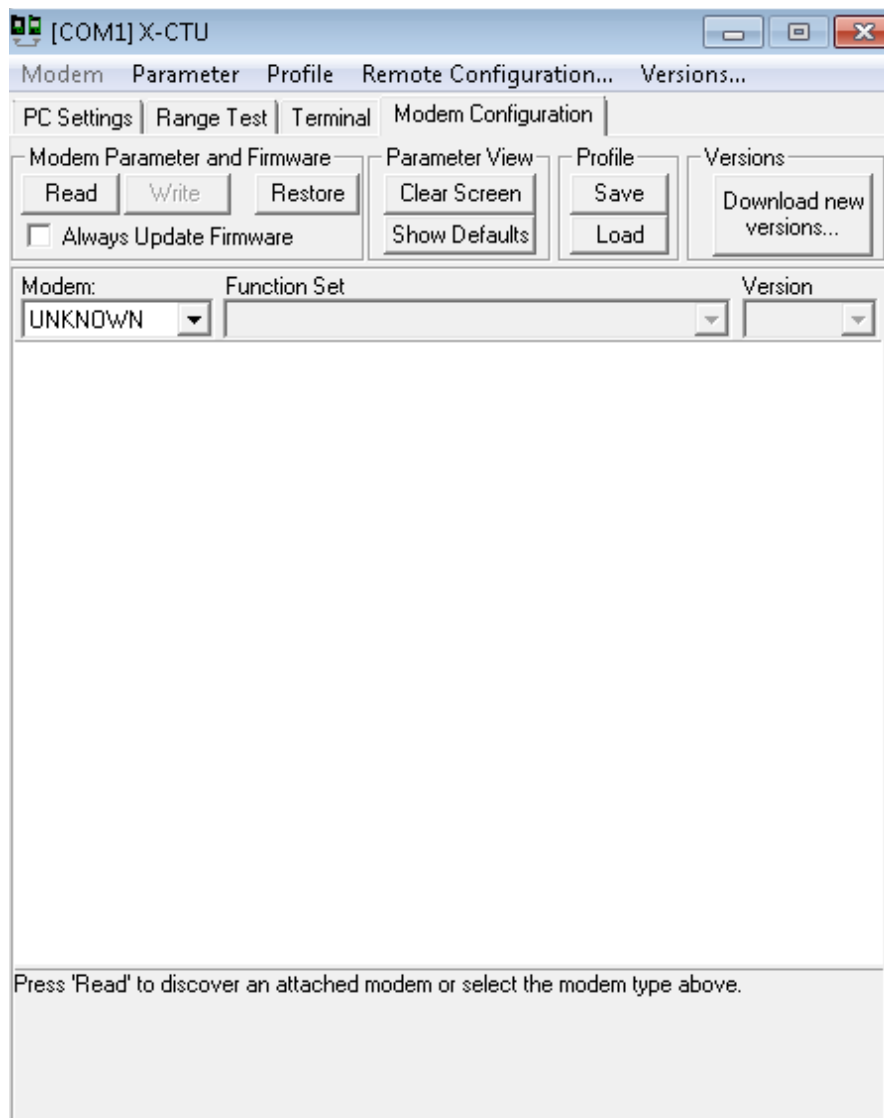


Fuente propia.

Tercer Paso:

Seleccionar la pestaña Modem Configuration como se observa en la Figura46.

Figura 46. Pestaña Modem Configuration del programa XCT-U

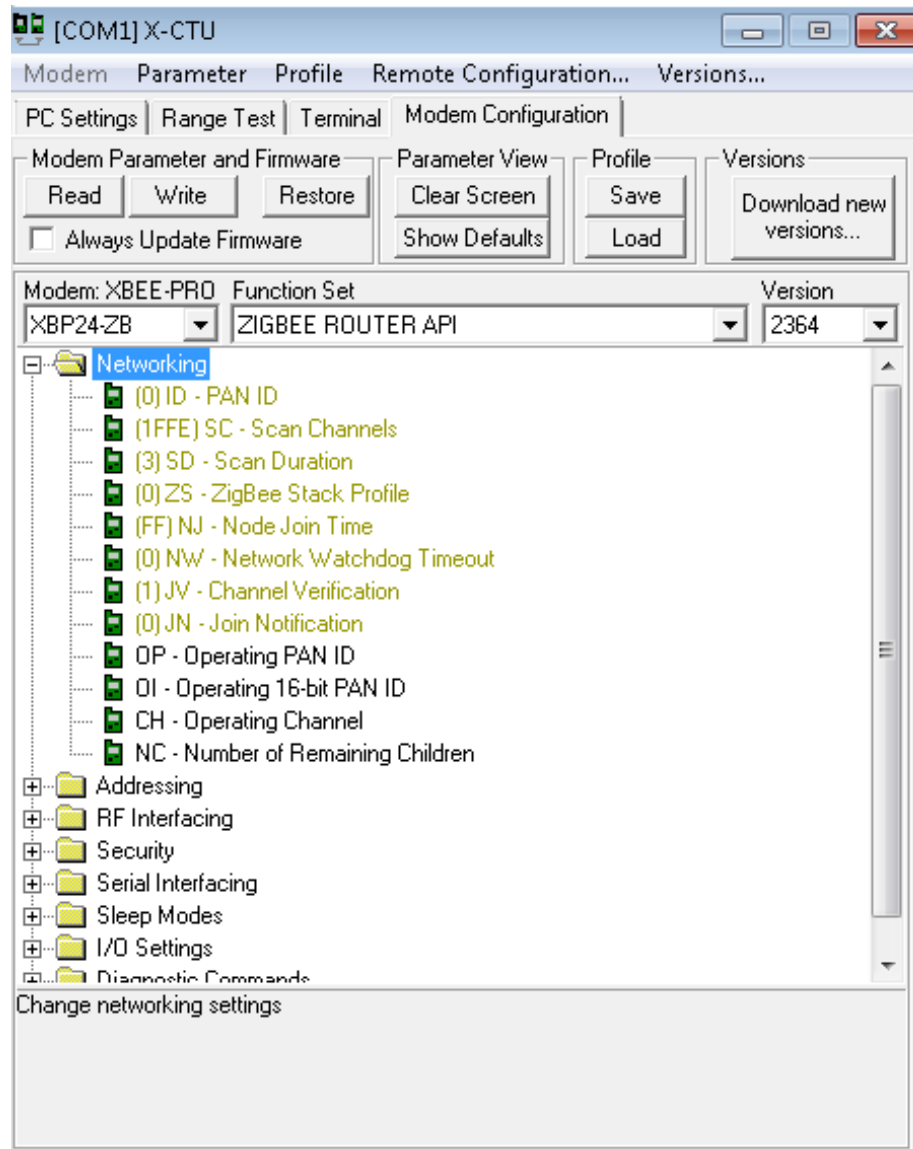


Fuente propia.

Cuarto Paso:

Modificar los parámetros de la carpeta Networking (Ver figura 47).

Figura 47. Parámetros modificados de la carpeta Networking.

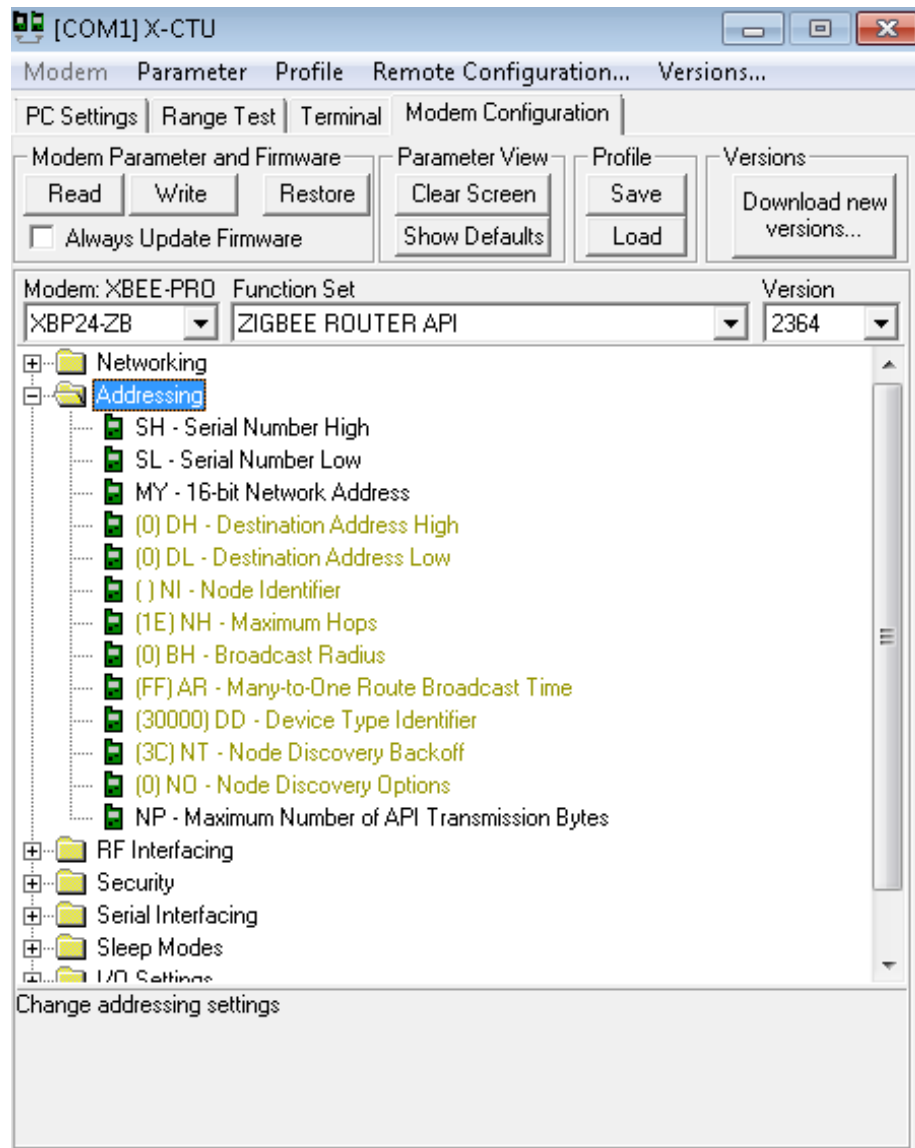


Fuente propia.

Quinto Paso:

Modificar los parámetros de la carpeta Addressing (Ver figura 48).

Figura 48. Parámetros modificados de la carpeta Addressing.

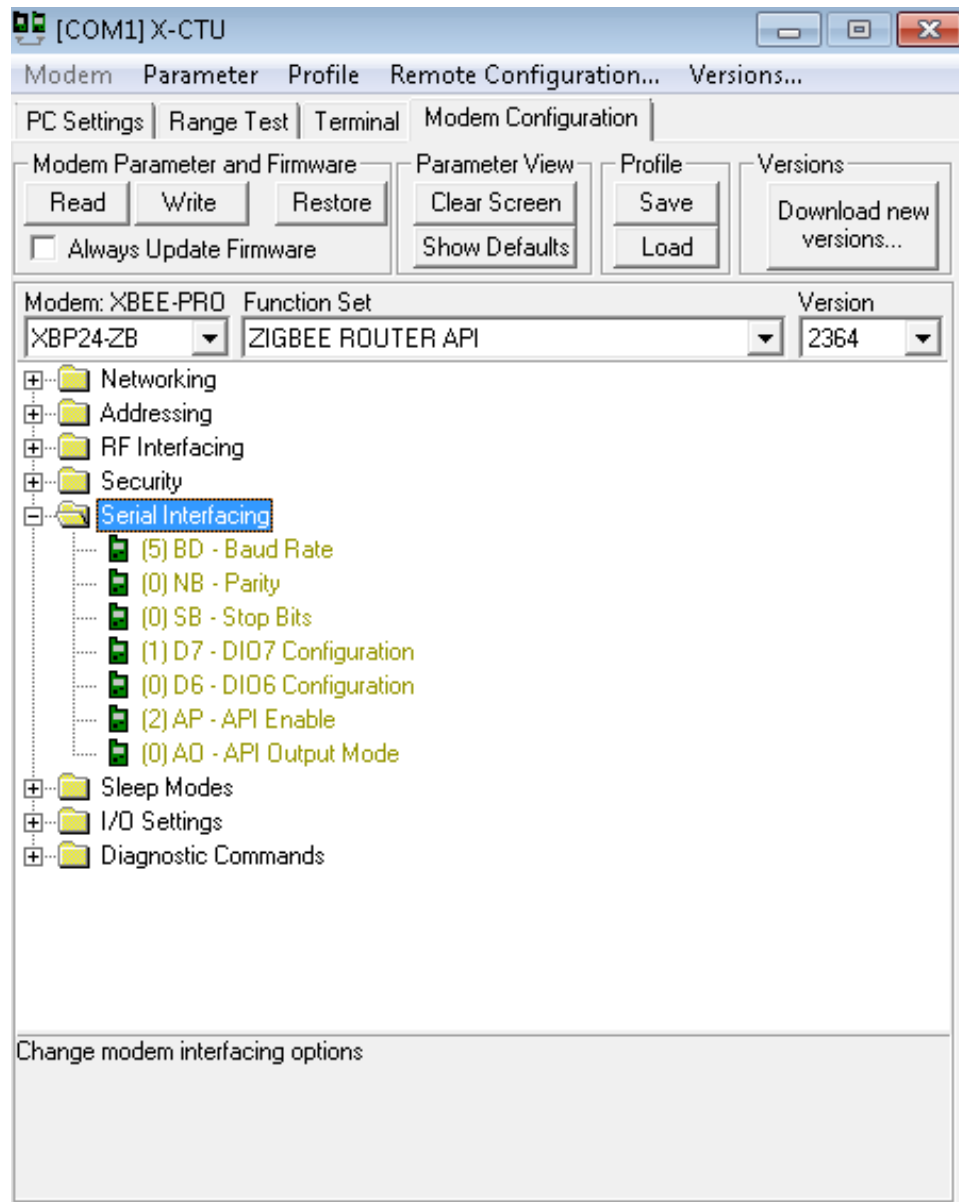


Fuente propia

Sexto Paso:

Modificar los parámetros de la carpeta Serial Interfacing (Ver figura 49).

Figura 49. Parámetros modificados de la carpeta Serial Interfacing

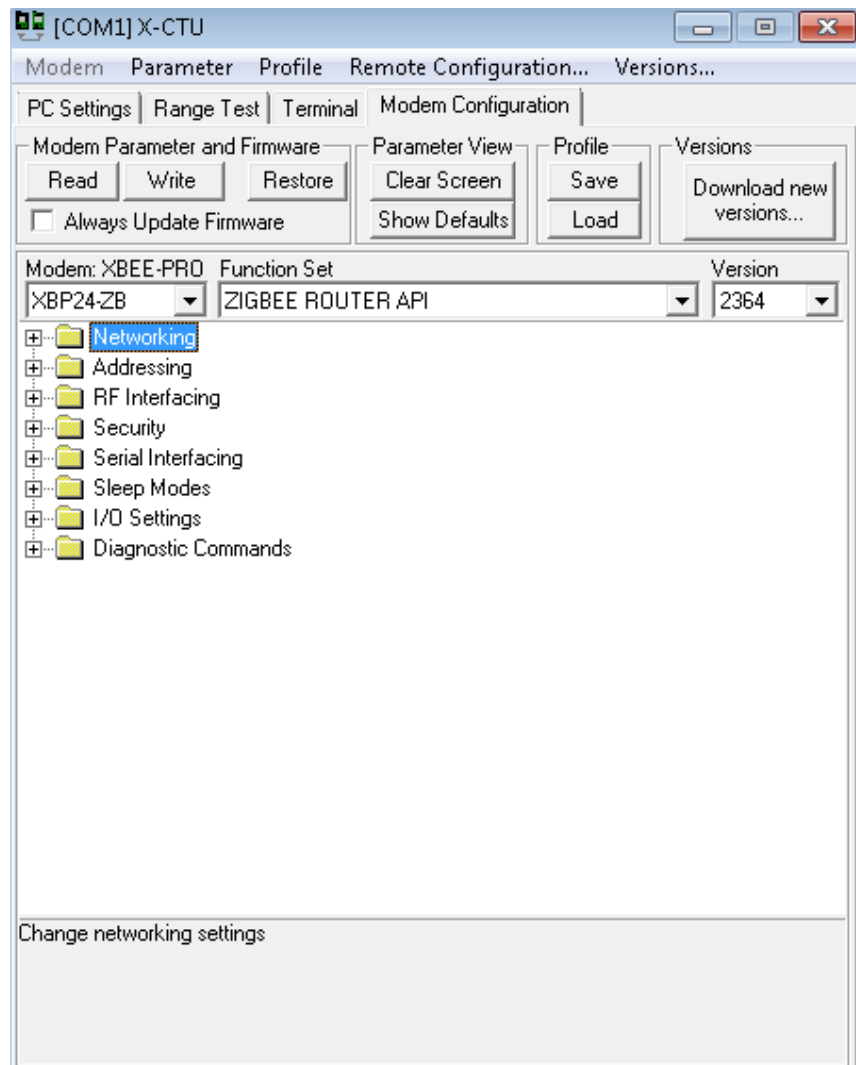


Fuente propia.

Séptimo Paso:

Oprimir el botón Write para cargar los parámetros anteriormente configurados.

Figura 50. Botón Write.



Fuente propia.

Octavo Paso:

Retirar el Gateway del puerto COM del computador.

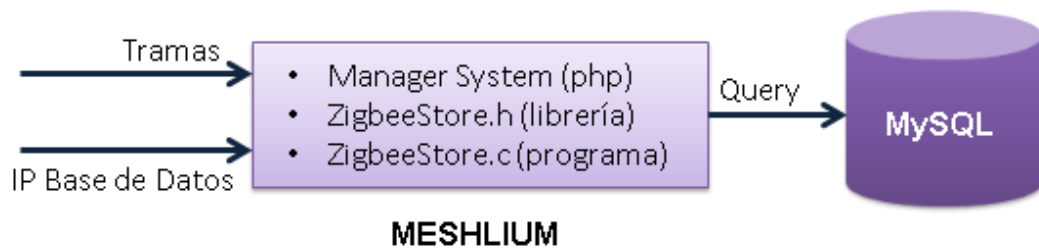
10. CONFIGURACIÓN DE LOS COMPONENTES DE SOFTWARE

10.1 MESHLIUM

10.1.1 Entorno de Programación

Meshlium está basado en un sistema operativo GNU/Linux -Debian Lenny 5.0.10; viene con una aplicación web basada en php (lenguaje de programación web libre) llamada Manager System, que permite controlar algunas de las características de conexión más importantes y las opciones de almacenamiento para los datos recibidos de los sensores.

Figura 51. Sistema de inserción de datos en la base de datos



Fuente propia

La descripción para añadir los datos en MySQL se observa en el sistema de inserción de datos (Ver figura 51); en el Meshlium ingresan las tramas que envían las placas Waspote a través de los módulos ZigBee y la dirección IP de la base de datos la cual es necesaria para que el Meshlium envíe los datos a esta.

Dentro de Meshlium se encuentran tres programas, Manager System (php), el ZigbeeStore.h la cual es una librería que sirve para declarar la estructura de las variables que tomará la base de datos y ZigbeeStore.c es un programa que se emplea como estructura principal y permite la inserción de las tramas en la base de datos; luego de esto se genera el Query (Sentencia de inserción de datos) y finalmente se insertan en la base de datos externa MySQL.

Para realizar esto, se deben seguir los siguientes pasos:

Primer Paso:

Buscar los puntos de acceso disponibles y conectarse a Meshlium.

La red de Meshlium es pública pero más adelante en las opciones de interfaz se puede cambiar esta configuración. Cuando se selecciona esta red, el dispositivo asignará una IP dentro del rango 10.10.10.10 – 10.10.10.250.

Segundo Paso:

Abrir un navegador y acceder a Meshlium Manager System. Para esto se tiene:

- URL: <http://10.10.10.1/ManagerSystem>
- Usuario: root
- Clave: libelium

Figura 52. Acceso a Meshlium Manager System



Fuente propia.

Tercer Paso:

Diseñar el modelo de datos a implementar:

Tabla 16. Modelo de datos

ID	FECHA	MAC	VARIABLES	NIVEL DE BATERIA
----	-------	-----	-----------	------------------

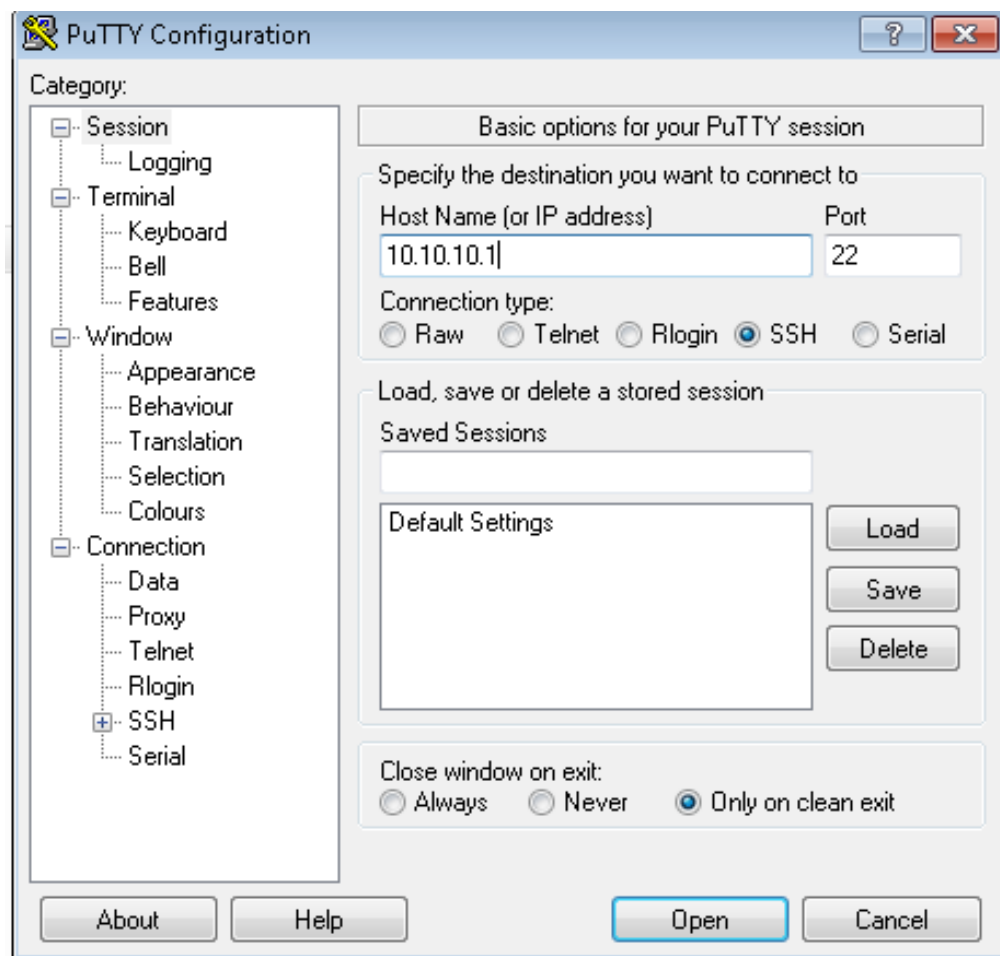
Fuente propia

Cuarto Paso:

Modificar el archivo php Manager System, el cual se encuentra en /mnt/user/ManagerSystem/plugins/b_SensorData/b0_Capturer/server.php. Esto se realiza con el fin de acoplar la base de datos del dispositivo a nuestro modelo de datos anteriormente diseñado.

Para esto, se ingresó al Meshlium por medio de ssh empleando la terminal putty.

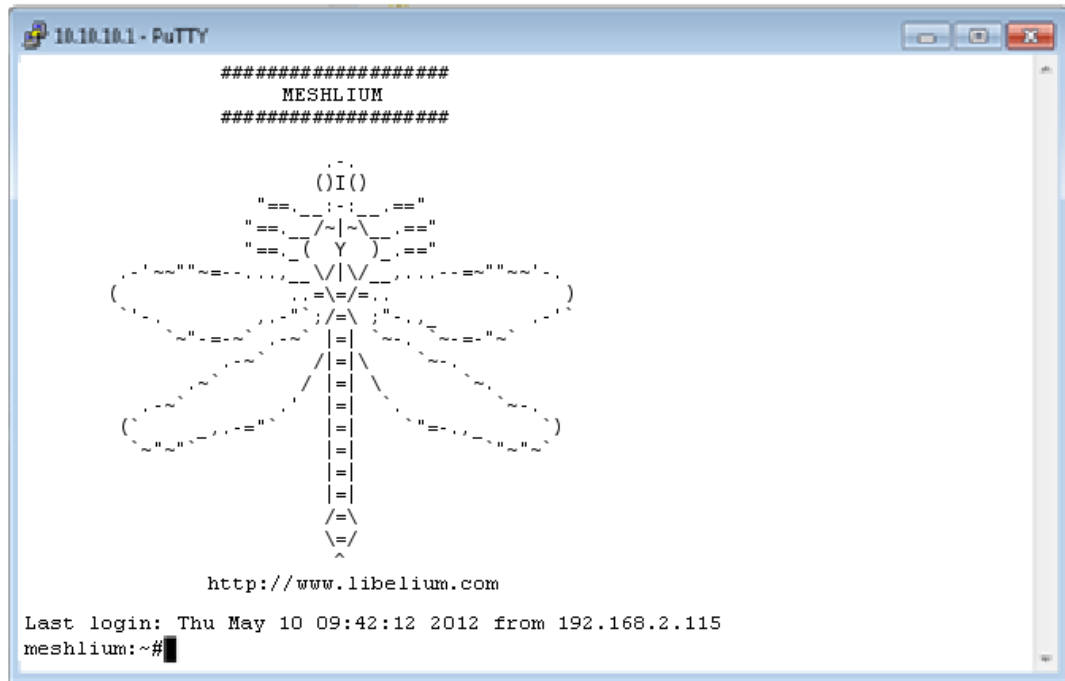
Figura 53. Configuración de Putty



Fuente propia

A continuación se ingresa el usuario y la contraseña (Ver figura 54).

Figura 54. Sheld



Fuente propia.

Luego de esto ya se puede ingresar el siguiente comando para indicar en donde se encuentra el archivo que se va a modificar y así poder ingresar a él y realizar las respectivas modificaciones:

```
/mnt/user/ManagerSystem/plugins/b_SensorData/b0_Capturer/server.php
```

Quinto Paso:

Modificar la librería ZigbeeStore.h ingresando a:

```
/mnt/user/ZigbeeStore.h
```

Sexto Paso:

Modificar el programa ZigbeeStore.c ingresando a:

```
/mnt/user/ZigbeeStore.c
```

Séptimo Paso:

Guardar las configuraciones realizadas. En el Anexo E se puede observar la Base de Datos Externa.

10.1.2 Modificación de los Programas Implementados

Se añade la siguiente línea de código para realizar la modificación del programa del ManagerSystem:

Para este programa se añade las siguientes líneas de código.

```
$instruccion = "insert into ".$form_data['ExtTable']."  
values (null, now(), 'a', 'a', 'a', 'a', 'a', 'a', 'a', 'a',  
'a', 'a', 'a', 'a');";
```

Para el programa ZigbeeStore.h se añade:

```
struct xbee_frame {  
    char meshlium[20];  
    char box[20];  
    char humEnv[20];  
    char temp[20];  
    char hum_1[20];  
    char hum_2[20];  
    char hum_3[20];  
    char velViento[20];  
    char dirViento[20];  
    char pluvio[20];  
    char radSolar[20];  
    char presAtm[20];  
    char battery[20];  
};
```

En el ANEXO C se puede observar las líneas de código que se adicionaron en el programa de ZigbeeStore.c.

11. DESARROLLO DEL SOFTWARE

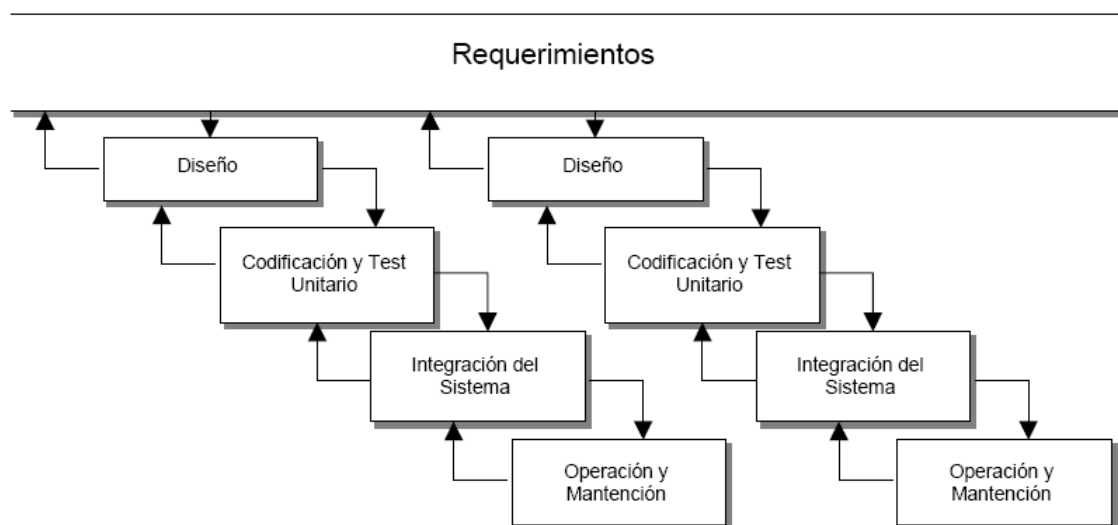
11.1 METODOLOGÍA IMPLEMENTADA

Para el desarrollo de la aplicación se utilizó una metodología incremental, que según el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa, en su apartado Gestión de Proyectos, es:

El desarrollo incremental es el proceso de construcción siempre incrementando subconjuntos de requerimientos del sistema. Típicamente, un documento de requerimientos es escrito al capturar todos los requerimientos para el sistema completo.

Según esto, el desarrollo incremental es 100% compatible con el modelo cascada. El desarrollo incremental no demanda una forma específica de observar el desarrollo de algún otro incremento. Así, el modelo cascada puede ser usado para administrar cada esfuerzo de desarrollo (Ver figura 55).

Figura 55. Modelos de ciclo de vida para desarrollo de Exsis Software y Soluciones SAS.



Modelo de Desarrollo Incremental con desarrollo en cascada de los incrementos.

Fuente: Formato GU_005 Calidad, Exsis Software y Soluciones SAS.

El modelo de desarrollo incremental provee algunos beneficios significativos para los proyectos:

- Construir un sistema pequeño es siempre menos riesgoso que construir un sistema grande.
- Al ir desarrollando parte de las funcionalidades, es más fácil determinar si los requerimientos planeados para los niveles subsiguientes son correctos.
- Si un error importante es realizado, sólo la última iteración necesita ser descartada.
- Reduciendo el tiempo de desarrollo de un sistema (en este caso en incremento del sistema) decrecen las probabilidades que esos requerimientos de usuarios puedan cambiar durante el desarrollo.
- Si un error importante es realizado, el incremento previo puede ser usado.
- Los errores de desarrollo realizados en un incremento, pueden ser arreglados antes del comienzo del próximo incremento.

11.2 IMPLEMENTACIÓN

El sistema se desarrolló utilizando tecnologías ASP.NET Framework 4.0, como se ha mencionado anteriormente, se implementó el motor de base de datos Microsoft SQL Server 2008 R2 para almacenar tanto las medidas como la información importante de la aplicación; se diseñó basándose en la arquitectura de 3 capas, una capa de acceso a los datos, que permite la comunicación de la aplicación con la base de datos, una capa de lógica de negocio, en la que se realizan las operaciones importantes, en esta parte se ubicarían los algoritmos que se tienen que ejecutar sin afectar los datos, y una última capa de presentación (Interfaz gráfica de usuario), en la que se tienen únicamente las páginas y la comunicación que tienen que hacer con la capa de negocio, pero sin interactuar directamente con la capa de acceso a los datos, esto permite una estructura robusta, escalable y modular que ayuda a que el mantenimiento y la puesta en marcha de la aplicación sea fácil de realizar.

11.3 APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

Para el desarrollo del proyecto se tiene planeado un sistema que integre el monitoreo de los datos y el estado en general del cultivo utilizando una conexión a internet y un dispositivo móvil, para el desarrollo de este módulo se está elaborando el desarrollo en la plataforma Android, esto debido a la fácil adquisición del API y a su fácil entendimiento, debido a que la mayoría de los miembros del equipo ya habían programado anteriormente en plataformas Java.

La aplicación consume un servicio web (SOAP que retorna un archivo con formato JSON) desarrollado en .NET, este servicio sirve de intermediario entre la aplicación y la base de datos, esto con el objetivo de controlar las conexiones que se realizan a la base de datos y para suplir los problemas de seguridad que conllevarían la conexión directa del dispositivo móvil con un motor de Base de Datos.

12. PRUEBAS

12.1 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Se realizan diversas pruebas con el fin de corroborar si los sensores que se van a implementar están correctamente configurados; se realiza una comparación con un elemento llamado termo higrómetro el cuál se encuentra con calibración de fábrica avalada por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).

Figura 56. Termo higrómetro



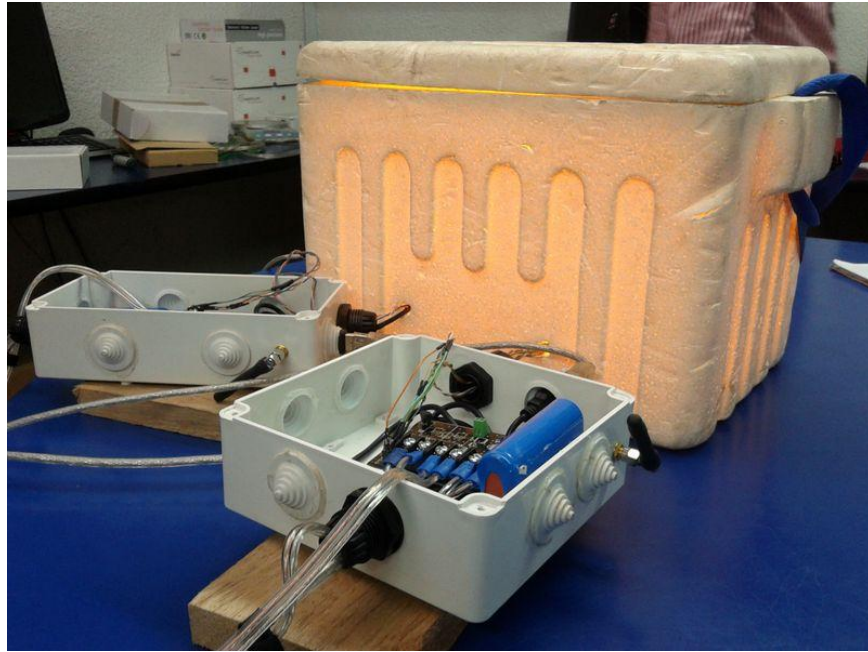
Fuente propia

Una vez adecuadas todas las cajas con sus respectivos sensores se ubican en un mismo lugar bajo las mismas condiciones de humedad relativa y temperatura ambiente, y se procede a registrar las medidas obtenidas por el termo higrómetro; como se sabe, las placas y sensores se programaron para realizar una lectura con intervalo de 2 minutos para realizar estas pruebas. La duración de la prueba comparativa es de 3 horas de medición continua, para esta, no se presentaron cambios considerables en las variables de temperatura y humedad; se registraron los valores de bulbo seco y bulbo húmedo del ambiente en el tiempo transcurrido en la prueba y fueron procesados con la ayuda de la carta sicométrica digital (SyTsoftPsicrometric) (Ver ANEXO K).

Además, para lograr identificar los niveles de respuesta y el comportamiento de las variables en condiciones extremas de medida se decide realizar pruebas en un ambiente aislado para así controlar las condiciones de temperatura y humedad relativa, para dicho propósito se utilizó una caja de poliestireno de alta densidad (Ver figura 57) como aislante térmico y con baja condición de humedad, se instaló un bombillo de 45W de potencia

donde la función del mismo es elevar la temperatura y reducir la humedad presente en el ambiente.

Figura 57. Prueba con baja condición de humedad



Fuente propia

El bombillo se mantuvo encendido durante 10 minutos, tiempo en que el ambiente cambió drásticamente sus niveles de temperatura y humedad.

12.2 SENSORES DE HUMEDAD DEL SUELO

Para la prueba de estos sensores se siguieron las recomendaciones del fabricante, las cuales especifica que dichos sensores requieren un periodo de saturación de mínimo 24 horas antes para que realicen una adecuada medición; logrando la saturación de los sensores se tiene una disposición adecuada para la obtención de datos correctos, el principio fundamental de estos es la resistencia que ofrece al paso de corriente, dicha medida es traducida en centibares de presión.

Para dichos sensores se realizaron varias pruebas en diferentes tipos de suelos. Los suelos manejados fueron arena de río y el suelo del terreno en Sutamarchan, Boyacá (Colombia); para la muestra del terreno se procuró tomar una muestra y perturbarla lo menos posible, para garantizar que la humedad del suelo estuviese totalmente en 0,

ambas muestras se llevaron al horno durante 24 horas a 105°C, se pesaron y el resultado fue de 2300gr de cada material y después de llevarlos al horno se encontró que el suelo en campo posee una humedad del 5%.

Figura 58 Pruebas Sensores de Humedad de Suelo



Fuente propia.

Con el material totalmente seco se procede a realizar las pruebas correspondientes instalando los sensores en materas plásticas, todos ellos a la misma profundidad (Ver figura 58) y a continuación brinda un tiempo de espera para que los sensores se estabilicen, debido al tiempo de respuesta que tienen estos sensores se requiere de periodos largos para obtener una medida adecuada de los niveles de humedad.

12.3 DATOS

Con los datos obtenidos anteriormente, se comprueba el correcto funcionamiento de los respectivos sensores lo cual genera mayor confianza en los datos que serán recopilados en campo y así se tendrá mayor calidad en la información en el momento de la toma de decisiones. Además para la prueba de los sensores de humedad relativa y temperatura se obtienen 6 matrices de datos los cuales fueron analizados, para obtener una mejor visualización de la información.

12.3.1 Resultados Humedad Relativa y Temperatura

En la prueba uno se aislaron varios sensores en un volumen reducido donde se acondicionó un bombillo de 45 W cuya prueba se realizó partiendo con condiciones ambiente de temperatura y humedad (Ver ANEXOS G y H).

El encendido del bombillo se realizó durante 10 minutos el día 7 de mayo a las 3:20 pm comenzando con una temperatura registrada de 24°C y humedad relativa del 40.6%. Los valores registrados por el termo higrómetro fueron de 23.7°C y humedad de los 41% para la hora de inicio de la prueba una vez transcurridos 10 minutos la temperatura alcanzó un pico de 80°C y la humedad relativa alcanzó valores extremos negativos donde la correlación existente entre dichas variables es corroborada.

En la segunda prueba se adicionó 50 ml de agua por medio de un nebulizador al contenedor a las 4:00 pm, dichos resultados se pueden apreciar en las gráficas de la prueba dos para temperatura y ambiente (Ver ANEXOS I y J).

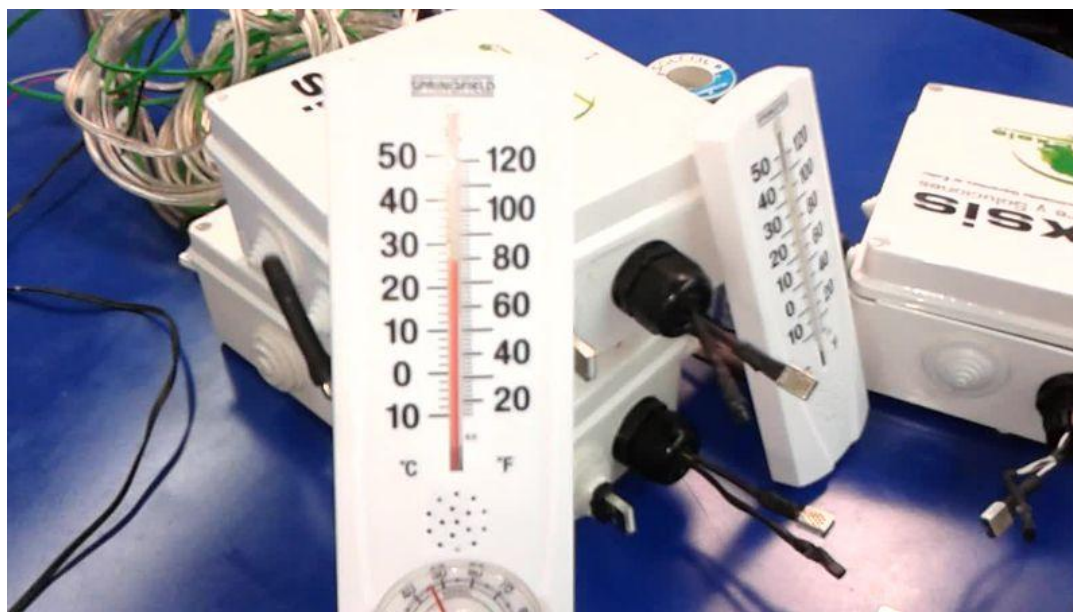
Una vez se adicionó el agua, se procedió a encender el bombillo a las 4:05 pm del ambiente aislado, y se continuó con el registro de medidas, el bombillo se encendió durante 12 minutos y el valor total alcanzado para la temperatura registrado por el termo higrómetro fue de 60°C.

Comparando las medidas bajo las dos condiciones diferentes se encuentra una relación lógica entre los comportamientos de las variables pues para un ambiente con alto contenido de agua los sensores lo registran y además bajo la acción de aumento de temperatura ocasionada por el bombillo, el ambiente se demora más tiempo en alcanzar una temperatura alta pero significativamente menor que la observada para la prueba anterior con una humedad ambiente menor.

Los valores obtenidos en todo el tiempo registrado con los sensores comparados con el termo higrómetro tiene un rango de (+/-0.5) ° C de discordancia.

Para la humedad relativa se encontró un rango de (+/-2) % en la variación, esto permite notar que los sensores realizan medidas correctas y dentro de un rango aceptable de discordancia. Según los datos obtenidos con los termómetros análogos de temperatura y bulbo húmedo (Ver figura 59), los sensores realizan el trabajo en cuestión de milisegundos. De esa manera se corrobora el funcionamiento de los sensores y la calidad de las medidas.

Figura 59. Termómetros análogos de temperatura y bulbo húmedo



Fuente propia

13. INSTALACIÓN

Luego de concluir con las pruebas de cada sensor, se procede a realizar la instalación en el cultivo de tomate en Sutamarchan, Boyacá (Colombia), esto se realiza el día 12 de mayo de 2012 sin ningún contra tiempo; a continuación se observará cómo fue la instalación de todos los elementos.

Figura 60. Cultivo de tomate en Sutamarchan



Fuente propia.

Figura 61. Cajas y Sensores de Humedad de Suelo.



Fuente propia.

Figura 62. Instalación cajas



Fuente propia.

Figura 63. Caja con sensores de humedad ambiente y temperatura instalada



Fuente propia.

Figura 64. Instalación sensor de humedad de suelo



Fuente propia

Figura 65. Concentrador Meshlium instalado



Fuente propia.

Figura 66. Instalación estación meteorológica



Fuente propia

Figura 67. Caja estación meteorológica instalada



Fuente propia

14. CONCLUSIONES

La Agricultura de Precisión se ha convertido en una manera eficaz y confiable para los productores agrícolas a nivel mundial, apoyada por supuesto en el uso de innovaciones tecnológicas con las que el ser humano se enfrenta diariamente, los resultados de la implementación de esta tecnología en este campo de la industria trae consigo muchas ventajas en el sector, pues permite la obtención de productos con mejor calidad y menos pérdidas a causa de los cambios climáticos.

Es importante resaltar que la calibración de los sensores es indispensable para el adecuado funcionamiento de este proyecto; además de que la elección de los sensores se debe basar en estudios previos donde se resalten las variables más representativas sin descuidar en ningún momento los aspectos climáticos a los que se encuentra expuesto el cultivo.

Gracias al diseño planteado se lograron los resultados esperados, realizando una toma de datos acertada útiles para lograr una solución final en el software que se encuentra en desarrollo, logrando eficazmente no solo la recepción sino también el correcto almacenamiento de los mismos, lo que permite concluir que este fue un diseño óptimo que cumplió a cabalidad con las expectativas del proyecto.

Por medio de este proyecto se comprueba que el modelo de Agricultura de Precisión implementado permite un monitoreo confiable de variables presentes en el cultivo de tomate de Sutamarchán, Boyacá (Colombia), además de corroborar que sí es posible hacer uso de este tipo de tecnologías en el territorio Colombiano, obteniendo así un aumento aproximado del 5% en la cosecha.

Las funciones que desempeñé en el proyecto fueron plantear el diseño del proyecto, configurar, calibrar y realizar la instalación de las placas y los sensores en el cultivo. Esta experiencia fue enriquecedora a nivel personal y profesional ya que logré experimentar el desarrollo del prototipo del proyecto aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de mi proceso de formación profesional en la Universidad Santo Tomas

La recomendación para futuros pasantes es que identifiquen un proyecto de grado innovador que les permita realizar toma de decisiones, dirigir un proyecto y aplicar conocimientos adquiridos en la universidad, aumentando el crecimiento personal y profesional que pueda contribuir al desarrollo del país.

15. BIBLIOGRAFÍA

- © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (2010). Obtenido de Libelium: http://www.libelium.com/documentation/waspmote/waspmote-certifications_esp.pdf
- © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (2010). Guía técnica waspmote. Zaragoza, España.
- © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (2011). Obtenido de Libelium: http://www.libelium.com/documentation/mesh_extreme/meshlium-certifications_esp.pdf
- © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (2012). Obtenido de Libelium: http://www.libelium.com/documentation/waspmote/agriculture-sensor-board_eng.pdf
- © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (Mayo de 2012). Obtenido de Libelium: http://www.libelium.com/documentation/waspmote/waspmote-technical_guide_eng.pdf
- Comité Europeo para la estandarización Electrotécnica. (s.f.). Recuperado el 2012, de CENELEC: <http://www.cenelec.eu/>
- ETSI. (Septiembre de 2005). Obtenido de http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301400_301499/30148901/01.06.01_60/en_30148901v010601p.pdf
- Gislason, D. (2008). *ZIGBEE WIRELESS NETWORKING*. USA: ELSEVIER.
- Ibáñez, J. J. (09 de Marzo de 2009). Recuperado el Febrero de 2012, de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2009/03/09/114118>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (27 de Julio de 2005). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5400.
- Ministerio de Ciencias y Tecnologías: http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/es-ES/Servicios/Certificacion/directiva5CE/Normativa/RD1890_2000.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el sistemade Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control. Roma.

ANEXO A REGISTRO ACTIVIDADES AGRÍCOLAS

3. VARIEDADES Y PATRONES 3.1 ELECCIÓN DE LA VARIEDAD

SISTEMA DE ELECCIÓN	
RESPONSABLE	
ASESORÍA	

UBICACIÓN	
ELABORADO POR	
CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE REGISTRO	SUB AREA DE CULTIVO	FECHA DE ELECCIÓN DE LA VARIEDAD	VARIEDAD SELECCIONADA	CRITERIOS PARA LA ELECCION (S/N)					LIMITACIONES PARA LA ELECCION	DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
				TECNOLOGIA CONOCIDA	MERCADO SEGURO	RESISTENTE TOLERANTE	USO MÍNIMO DE AGROQUÍMICOS	OTROS			

En la casilla sistema de elección defina si fue por su experiencia, recomendación de un profesional, recomendación de proveedor o recomendación de otro cultivador.

En la casilla de ubicación llenar con vereda, municipio y departamento

Los documentos de soporte para el caso de las semillas o plántulas son las fichas técnicas proporcionadas por el distribuidor.

OBSERVACIONES:

3.2 CALIDAD DE LA SEMILLA

SISTEMA DE COMPRA	
RESPONSABLE	
ASESORÍA	

UBICACIÓN	
ELABORADO POR	
CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE REGISTRO	FECHA DE COMPRA	SUB AREA DE CULTIVO	PROVEEDOR	CANTIDAD	VALOR	DOCUMENTO QUE ACREDITE ESTAR LIBRE DE: (S/N)			PUREZA VARIETAL (%)	TASA DE GERMINACIÓN (%)	DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
						PLAGAS	ENFERMEDADES	VIRUS				

en la casilla de valor indicar, el precio por unidad de compra ejemplo \$50/ kg, \$100/plántula

--

3.3 RESISTENCIA A PLAGAS Y ENFERMEDADES

SISTEMA DE SELECCIÓN		UBICACIÓN	
RESPONSABLE		ELABORADO POR	
ASESORÍA		CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE REGISTRO	FECHA DE SELECCIÓN	SUB AREA DE CULTIVO	VARIEDAD	RESISTENTE A PLAGAS Y ENFERMEDADES		OTRAS CARACTERÍSTICAS	DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
				PLAGA	ENFERMEDAD			

OBSERVACIONES:

3.4 TRATAMIENTO A SEMILLAS

SISTEMA DE TRATAMIENTO	
RESPONSABLE	
ASESORIA	

UBICACIÓN	
ELABORADO POR	
CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE REGISTRO	FECHA DE TRATAMIENTO	VARIEDAD	SUB AREA DE CULTIVO	SOBRE EL TRATAMIENTO			MOTIVO DEL TRATAMIENTO			EVALUACION DEL TRATAMIENTO (S/N)	DOCUMENTO DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
				TIPO	PRODUCTO	CANTIDAD	PLAGA	ENFERMEDAD	OTRA RAZÓN			

OBSERVACIONES:

5. GESTION DEL SUELO Y DE LOS SUTRATOS

5.1 MAPAS DEL SUELO

SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN		UBICACIÓN	
RESPONSABLE		ELABORADO POR	
ASESORIA		CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE REGISTRO	SUELO AREA DE CULTIVO	DISPONIBILIDAD DE MAPA (EN)		CATEGORÍA DE LA INFORMACIÓN (EN)		AUTORÍA	FECHA DEL MAPA	INFORMACIÓN SOBRE NUTRIENTES (EN)		OTRAS CARACTERÍSTICAS DISPONIBLES	DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
		LOCAL	REGIONAL	GENERAL	DETALLADO			MACRONUTRIENTES	MICRONUTRIENTES			

5.2 LABOREO

SISTEMA DE SELECCION	
RESPONSABLE	
ASESORIA	

UBICACION	
ELABORADO POR	
CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DEL REGISTRO	SUE AREA DE TRABAJO	FECHA DE LABOREO	TIPO DE LABOREO	MAQUINARIA	HORAS MAQUINA	EFECTOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL SUELO (%)			EFECTOS SOBRE LA COMPACTACION DEL SUELO (%)			CONOCE UN MEJOR TIPO DE LABOREO (%)	DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
						MEJORA	MANTIENE	DETERIORA	EVITA	MANTIENE	ALMENTA			

5.3 EROSIÓN DEL SUELO

SISTEMA DE SELECCION	
RESPONSABLE	
ASESORIA	

UBICACION	
ELABORADO POR	
CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DEL REGISTRO	SUB AREA DE TRABAJO	RIESGO DE EROSION(ALTA, MEDIA, BAJA, NINGUNA)			APLICACION DE TECNICAS DE LABOREO DE CONSERVACION (S/N)				DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
		PENDIENTE	EOLICA	OTRO	PERPENDICULAR A AL PENDIENTE	DRENAJE	COBERTURA DE PASTO	FERTILIZANTES ECOLOGICOS		

5.4 DESINFECCIÓN DEL SUELO

SISTEMA DE SELECCION	
RESPONSABLE	
ASESORIA	

UBICACION	
ELABORADO POR	
CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE REGISTRO	FECHA DE USO	SUB AREA DE CULTIVO	DESINFECTANTES QUIMICOS DEL SUELO						OTRAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS A LA FUMIGACION	DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
			S/N	LOCALIZACION	MATERIA ACTIVA	DOSES	METODO	OPERADOR			

6. FERTILIZACIÓN

6.1 RECOMENDACIONES DE CANTIDAD Y TIPO DE FERTILIZANTES

SISTEMA DE SELECCION DEL ASESOR		UBICACION	
RESPONSABLE		ELABORADO POR	
ASESORIA		CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE REGISTRO	NOMBRE DEL ASESOR	SUB AREA DE TRABAJO	FORMACION Y COMPETENCIA PARA (S/N)			OTRAS CARACTERISTICAS	DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
			CALCULAR CANTIDADES	RECOMENDAR TIPOS DE FERTILIZANTES	PRESENTAR BALANCE DE NUTRIENTES			

6.2 REGISTROS DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTES

RESPONSABLE		UBICACION	
ASESORIA		ELABORADO POR	
		CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE REGISTRO	FECHA DE APLICACIÓN	SUE AREA DE TRABAJO	TIPO DE APLICACIÓN		TIPO DE FERTILIZANTE		APLICACIÓN						DOCUMENTOS SUSTENTATIVOS	RECOMENDACIONES
			FOLIAR	DEL SUELO	ORGANICO	INORGANICO	PRODUCTO	CONCENTRACIÓN	CANTIDAD	MAQUINARIA	MÉTODO	OPERARIO		

6.3 MAQUINARIA DE APLICACIÓN

FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA		UBICACION	
RESPONSABLE		ELABORADO POR	
ASESORÍA		CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE REGISTRO	FECHA DE MANTENIMIENTO	MAQUINARIA	TIPO DE MANTENIMIENTO		PROGRAMA DE CALIBRACION			OTRAS LABORES DE MANTENIMIENTO	DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
			ORDINARIO	CAMBIO DE REPUESTOS	COMPANIA	PROVEEDOR	TECNICO RESPONSABLE			

6.5 FERTILIZANTE ORGÁNICO

SISTEMA DE SELECCIÓN:	
RESPONSABLE	
ASESORÍA	

UBICACIÓN	
ELABORADO POR	
CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA	NOMBRE DEL FERTILIZANTE ORGÁNICO	CONDICIONES DEL FERTILIZANTE			APORTE DE NUTRIENTES			DOCUMENTO SOPORTE	RECOMENDACIONES
		CONTIENE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	RIESGO DE INFECCIÓN		N	P	K		
		CUALQ.	POR ORIGEN	SEGÚN CARACTERÍSTICAS					

7. RIEGO

7.1 CÁLCULO DE NECESIDADES DE RIEGO

SISTEMA DE CÁLCULO	
RESPONSABLE	
ASESORÍA	

UBICACION	
ELABORADO POR	
CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE CÁLCULO	SUB AREA DE TRABAJO	MEDICIONES PARA NECESIDADES DE AGUA			PRECIPITACION		OTRAS CARACTERISTICAS DE LA METODOLOGIA	DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
		HUMEDAD DEL SUELO	ESTRUCTURA DEL SUELO	GRADO DE EVAPORACIÓN	MEDICIONES	PREDICCIONES			

7.2 SISTEMA DE RIEGO

SISTEMA DE RIEGO		UBICACION	
RESPONSABLE		ELABORADO POR	
ASESORÍA		CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE REGISTRO	SUB ÁREA DE CULTIVO	EVALUACION DEL SISTEMA DE RIEGO ACTUAL (OPTIMO-MODERADO-DEFICIENTE)			PLAN DE MEJORA (S/N)		USO DEL AGUA			DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
		SEGUN EL CULTIVO	SEGUN LA INFRAESTRUCTURA	SEGUN LA EFICIENCIA	OPTIMIZAR LA APLICACIÓN	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS	CALCULADO	CALCULO VISUAL O EXPERIENCIA	PREMITIDO		

7.3 CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

SISTEMA DE MEDICION		UBICACION	
RESPONSABLE		ELABORADO POR	
ASESORIA		CULTIVO/PRODUCTO	

FECHA DE REGISTRO	FECHA DE ANALISIS DE AGUA	SUS AREAS REGADAS CON ESTA FUENTE	AGUAS RESIDUALES (S/N)	EVALUACIÓN DE RIESGOS DE LA FUENTE (S/N)			ANÁLISIS DE AGUA DE RIEGO (S/N)				PLAN DE MEDIDAS CONCRETAS (S/N)	DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
				BACTERIOLÓGICA	FÍSICA	QUÍMICA	LABORATORIO CALIFICADO	BACTERIOLÓGICO	QUÍMICO	METALES PESADOS			

7.4 PROCEDENCIA DEL AGUA DE RIEGO

SISTEMA DE SELECCIÓN		UBICACIÓN	
RESPONSABLE		ELABORADO POR	
ASESORÍA		CULTIVO/PRODUCTO	

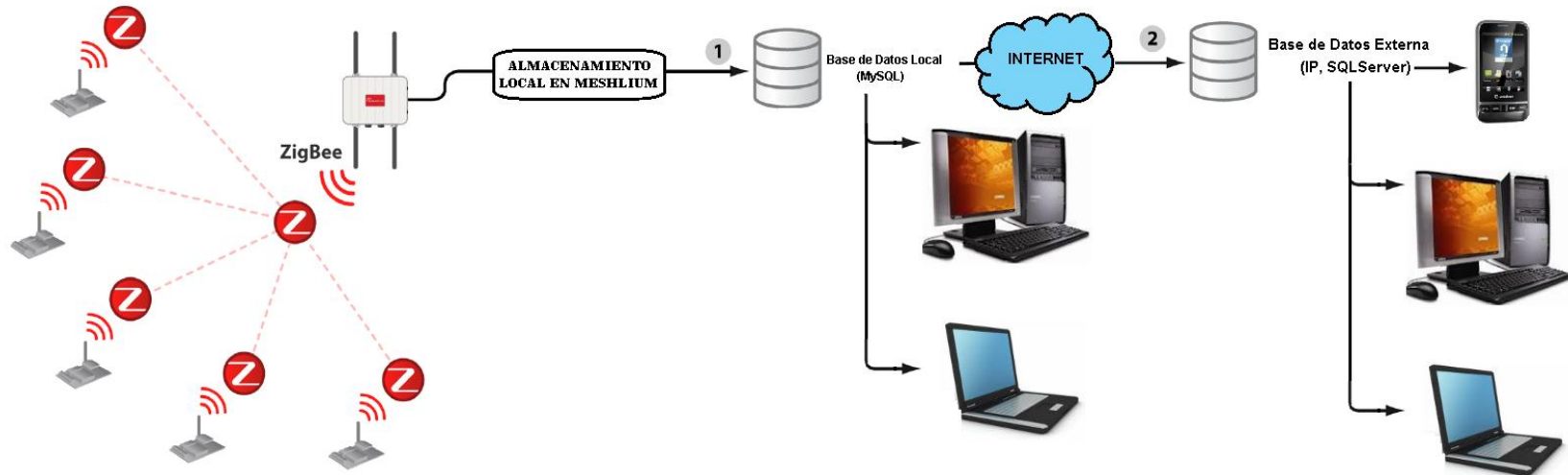
FECHA DE REGISTRO	FECHA DE CONCESIÓN	SUB AREAS REGADAS CON ESTA FUENTE	FUENTE DEL AGUA DE RIEGO			PERMISO DE USO		OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE	DOCUMENTOS DE SOPORTE	RECOMENDACIONES
			ORIGEN	SISTEMA DE CONDUCCIÓN	SOSTENIBLE (S/N)	CAUDAL CONCEDIDO (L/S/H)	DISPONIBILIDAD EN HORAS			

7.5 REGISTRO DE APLICACIÓN DE RIEGO

SISTEMA DE RIEGO		CINTA/ GOTEROS	
RESPONSABLE		CAUDAL POR AGUJERO O GOTERO (M ³ /H)	
ASESORÍA		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	

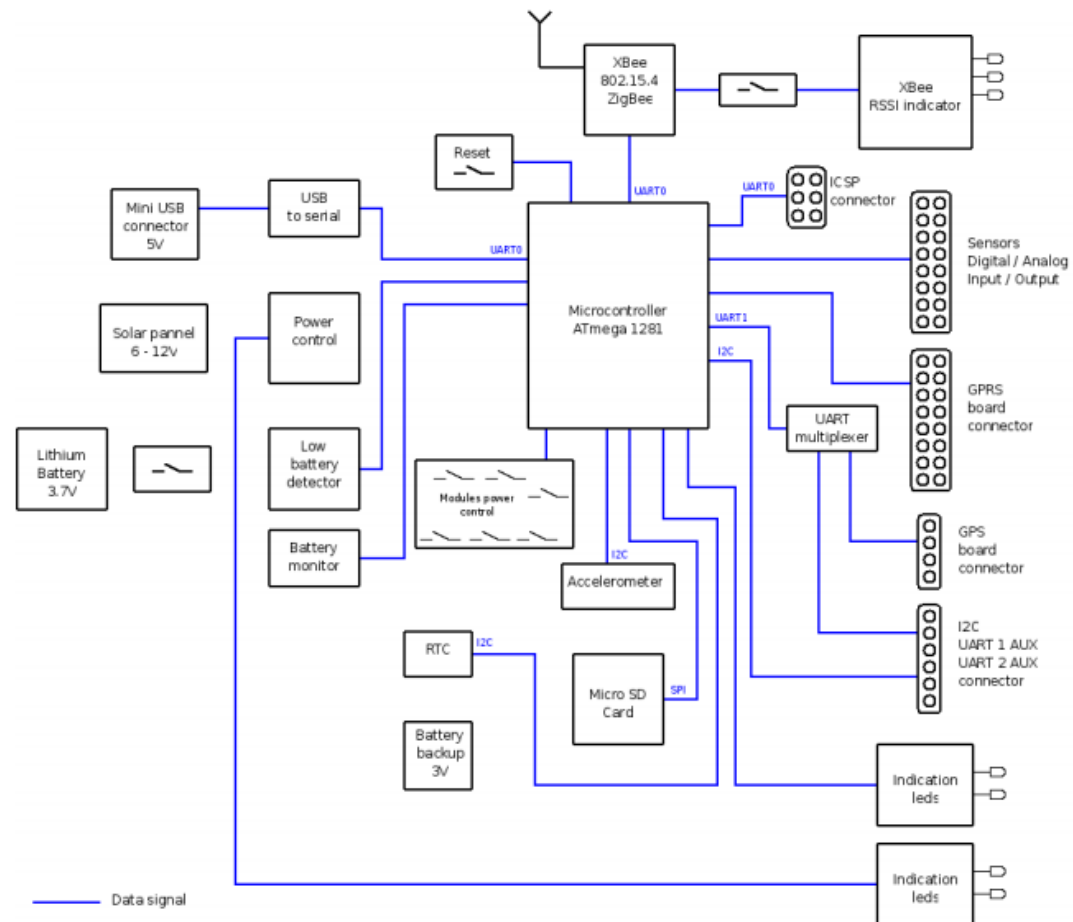
FECHA DE REGISTRO	FECHA DE APLICACIÓN	FERTIRIEGO (%)	SUB AREA DE TRABAJO	FRECUENCIA DE RIEGO	HORA DE INICIO DE RIEGO	HORA DE FINAL DE RIEGO	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO		OPERARIO	RECOMENDACIONES
							AL INICIO DEL RIEGO	AL FINAL DEL RIEGO		

ANEXO B DIAGRAMA DE COMPONENTES



Fuente: Guía Redes Sensoriales Inalámbricas con Waspnote y Meshlium, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2012

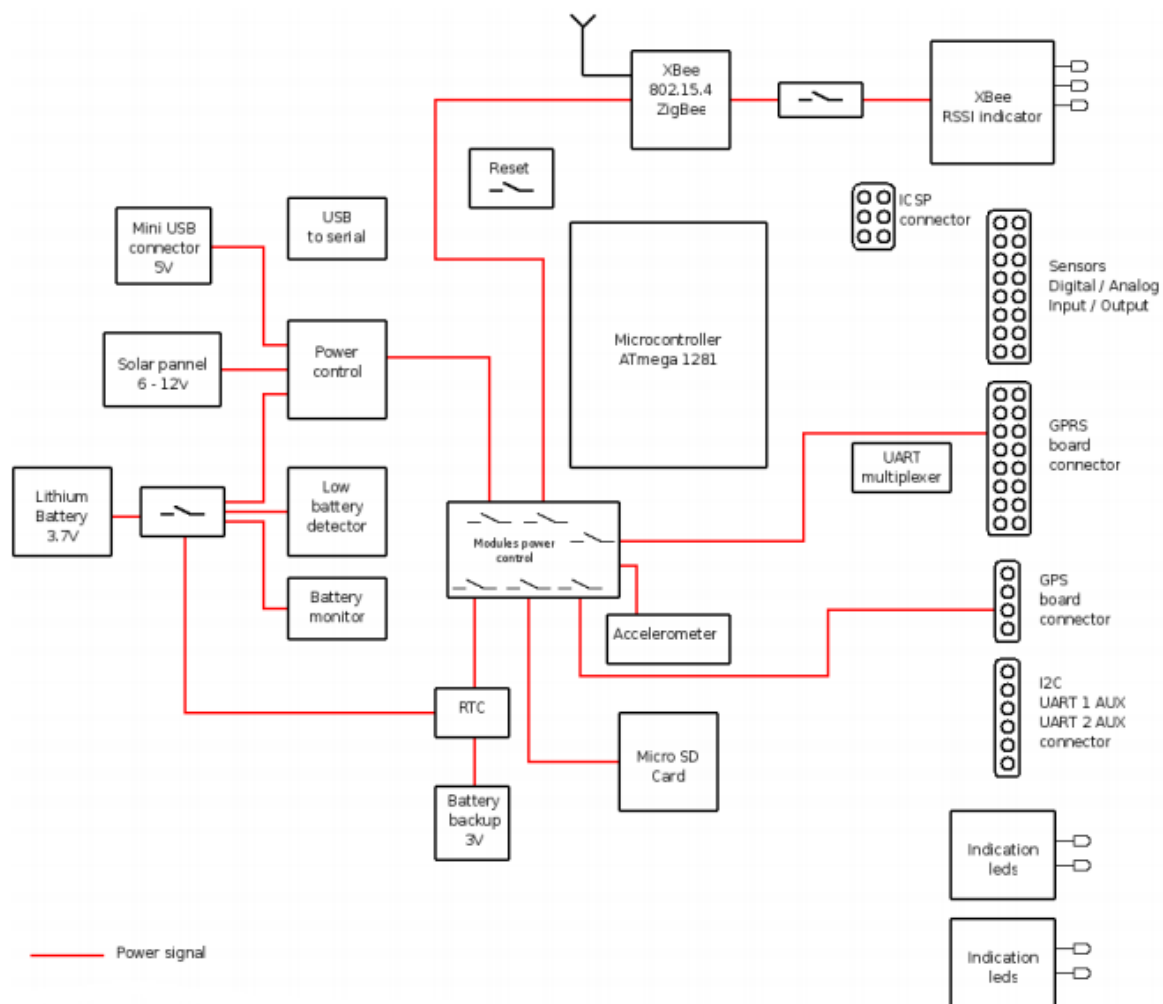
ANEXO C DIAGRAMA DE BLOQUES SEÑALES DE DATOS



Fuente: Guía Técnica Waspnote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2012

ANEXO D

DIAGRAMA DE BLOQUES SEÑALES DE ALIMENTACIÓN



Fuente: Guía Técnica Waspnote, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2012

ANEXO E BASE DE DATOS EXTERNA (MySQL)

The screenshot displays the MySQL Workbench interface. The SQL Editor window shows a query: `SELECT * FROM meshliumdb.apsensordata order by 1 desc;`. The results are displayed in a table with the following columns: ID_frame, TimeStamp, mac, hum_env, temp, hum_1, hum_2, hum_3, vel_viento, dir_viento, pluvio, and rad_solar. The results are sorted by ID_frame in descending order.

ID_frame	TimeStamp	mac	hum_env	temp	hum_1	hum_2	hum_3	vel_viento	dir_viento	pluvio	rad_solar
43068	2012-05-24 16:39:49	4	42.69	25.80	475.28	152.84	291.54				
43062	2012-05-24 16:28:04	1	31.42	29.35	401.76	1029.86	767.75				
43056	2012-05-24 16:18:58	4	40.96	28.38	477.66	147.34	291.92				
43050	2012-05-24 16:07:28	1	33.50	27.74	410.76	1033.59	770.71				
43044	2012-05-24 15:58:06	4	42.87	25.80	482.39	147.55	292.35				
43038	2012-05-24 15:46:52	1	30.73	28.38	403.95	1031.99	765.99				
43032	2012-05-24 15:37:14	4	35.24	27.09	486.02	146.16	293.04				
43026	2012-05-24 15:26:15	1	38.36	26.77	423.90	1021.45	769.52				
43020	2012-05-24 15:16:22	4	35.93	28.38	456.51	139.58	293.98				
43013	2012-05-24 15:05:40	1	33.15	29.35	426.89	961.07	762.77				

The Output window shows the execution log:

Time	Action	Message	Duration / Fetch
1 16:43:36	SELECT * FROM meshliumdb.apsensordata order by 1 desc LIMIT 0, 1000	1000 row(s) returned	0.109 sec / 0.000 sec
2 16:45:41	SELECT * FROM meshliumdb.apsensordata where mac != '7' order by 1 desc LIMIT 0, 1000	1000 row(s) returned	0.078 sec / 0.000 sec

Fuente propia.

ANEXO F

LÍNEAS DE CÓDIGO PARA PROGRAMA ZigbeeStore.c

```
int parseFrame(struct xbee_frame *p_frame) {

    char token='$';
    char varAux[500];
    int numVar=1;
    int position=0;
    int l=0;

    printf("\nLa trama recibida es:\n%s\n",aux);
    printf("El tamaño del arreglo es: %d\n", strlen(aux));
    int i=0;
    for(i=0;i<strlen(aux);i++){
        if(aux[i]==token){
            if(aux[i+1]!=token){
                l=i+1;
                while(aux[l]!=token&& l<strlen(aux)){
                    varAux[position]=aux[l];
                    position++;
                    l++;
                }
                varAux[position]='\0';
                i=l-1;
            }
            else{
                strcpy(varAux,"");
            }

            switch(numVar){

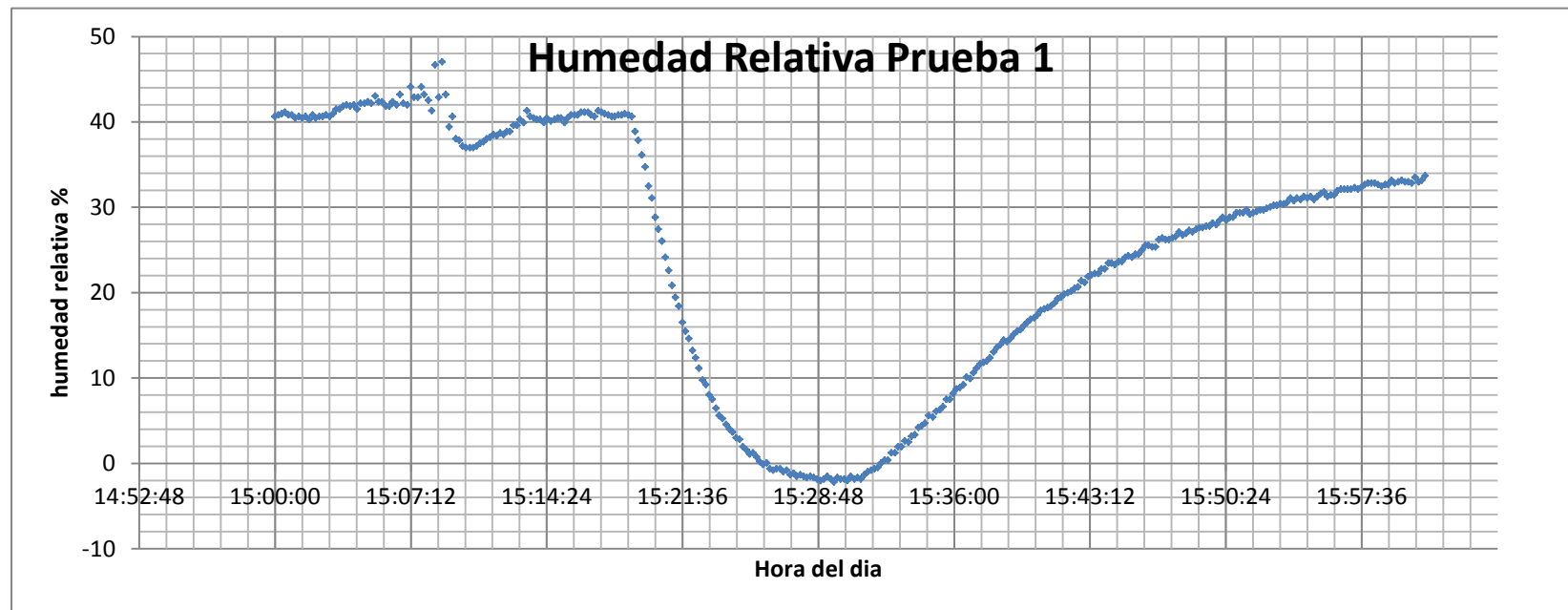
            case 1:
                strcpy(p_frame->box,varAux);
                printf("mac: %s\n",varAux);
                break;
            case 2:
                strcpy(p_frame->humEnv,varAux);
                printf("Environment Humidity: %s\n",varAux);
                break;
            case 3:
                strcpy(p_frame->temp,varAux);
                printf("Temperature: %s\n",varAux);
                break;
            case 4:
                strcpy(p_frame->hum_1,varAux);
                printf("Soil Humidity 1: %s\n",varAux);
                break;
            }
        }
    }
}
```

```

        case 5:
            strcpy(p_frame->hum_2,varAux);
            printf("Soil Humidity 2: %s\n",varAux);
            break;
        case 6:
            strcpy(p_frame->hum_3,varAux);
            printf("Soil Humidity 3: %s\n",varAux);
            break;
        case 7:
            strcpy(p_frame->velViento,varAux);
            printf("Speed Wind: %s\n",varAux);
            break;
        case 8:
            strcpy(p_frame->dirViento,varAux);
            printf("Direction Wind: %s\n",varAux);
            break;
        case 9:
            strcpy(p_frame->pluvio,varAux);
            printf("Pluviometer: %s\n",varAux);
            break;
        case 10:
            strcpy(p_frame->radSolar,varAux);
            printf("Solar Radiation: %s\n",varAux);
            break;
        case 11:
            strcpy(p_frame->presAtm,varAux);
            printf("Atmospheric Preasure: %s\n",varAux);
            break;
        case 12:
            strcpy(p_frame->battery,varAux);
            printf("Battery Lvl: %s\n",varAux);
            break;
        default:
            printf("ERROR - Unable to parse received
frame: %s\nThe frame has to many parameters.\n",aux);
            break;
    }
    numVar++;
    position=0;
}
}

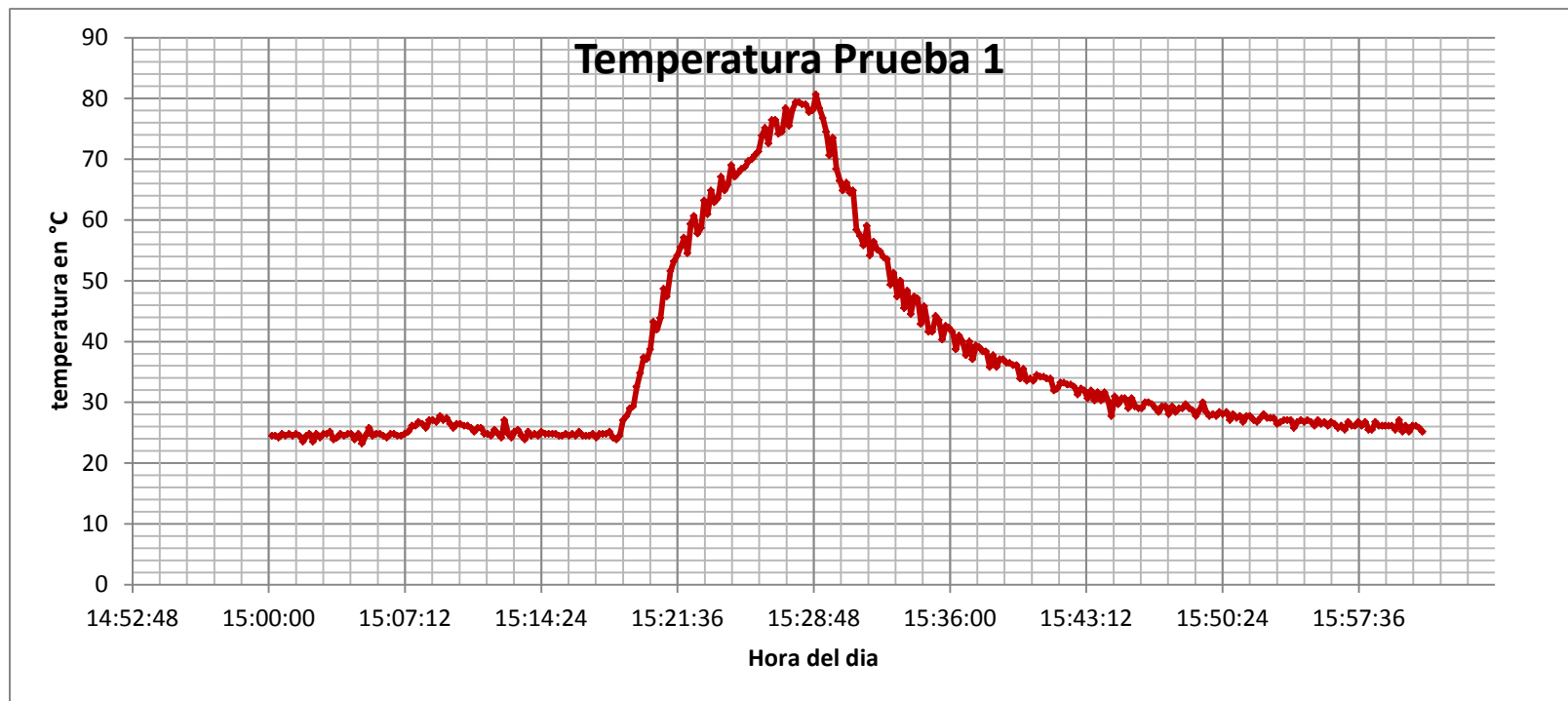
```

ANEXO G
PRUEBA 1 HUMEDAD RELATIVA



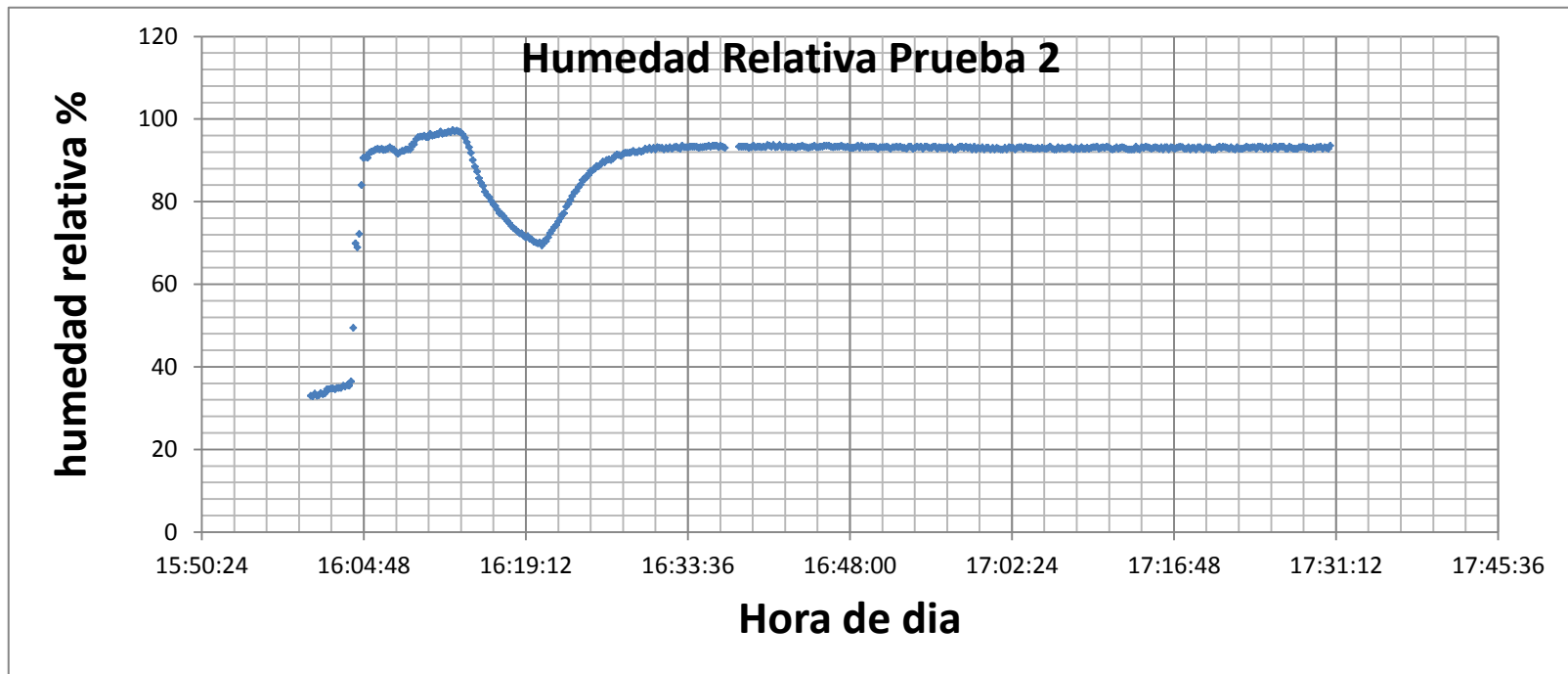
Fuente propia.

ANEXO H
PRUEBA 1 TEMPERATURA



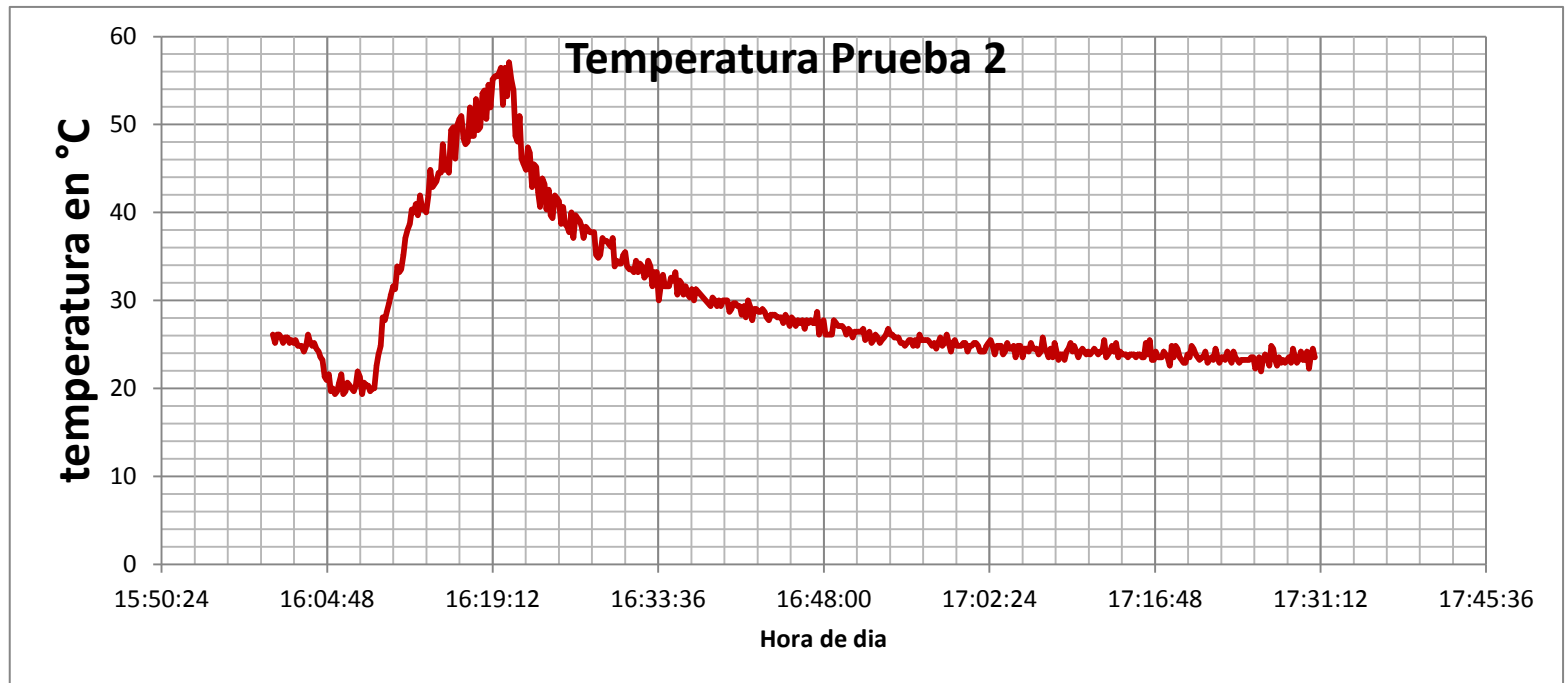
Fuente propia.

ANEXO I
PRUEBA 2 HUMEDAD RELATIVA



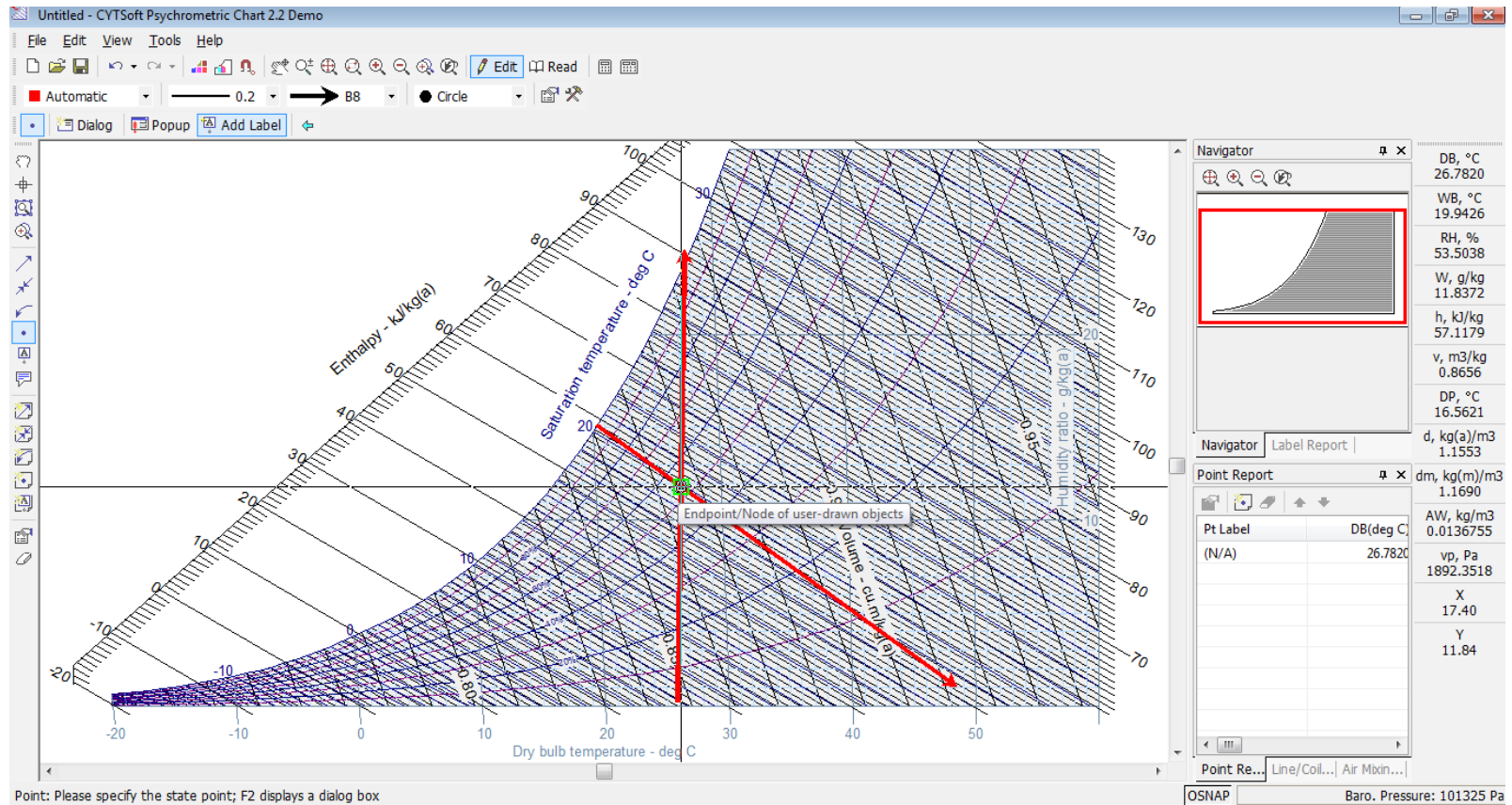
Fuente propia.

ANEXO J
PRUEBA 2 TEMPERATURA



Fuente propia.

ANEXO K CARTA PSICROMÉTRICA



Fuente propia