

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE
DATOS CON SENSORES: 808H5V5, MCP9700A, WATERMARK,
MPX4115A, SQ-110, COMUNICACIÓN MEDIANTE PROTOCOLO ZIGBEE Y
MySQL, PARA UN CULTIVO DE TOMATE EN SUTAMARCHÁN, BOYACÁ
(COLOMBIA).**

LUIS MIGUEL IBARRA DAZA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
AÑO 2012**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE
DATOS CON SENSORES: 808H5V5, MCP9700A, WATERMARK,
MPX4115A, SQ-110, COMUNICACIÓN MEDIANTE PROTOCOLO ZIGBEE Y
MySQL, PARA UN CULTIVO DE TOMATE EN SUTAMARCHÁN, BOYACÁ
(COLOMBIA).**

LUIS MIGUEL IBARRA DAZA

Monografía para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director

**ING. ANDREA DEL PILAR GOMEZ TORRES
Docente Facultad de Ingeniería Electrónica**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
AÑO 2012**

RECTOR GENERAL

Padre Carlos Mario Alzate Montes, O.P.

VICERRECTOR ACADÉMICO

Padre Eduardo González 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

Tutor

Jurado

Jurado

BOGOTA D.C., 03 DE DICIEMBRE DE 2012

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mis padres Gloria Raquel y Ciro Alfonso, por todo el esfuerzo y apoyo brindado para que este sueño sea realidad, gracias por sus consejos que han sido los que marcaron la diferencia en mi vida, a mi hermano Ciro Alfonso por hacerme entender que la vida es solo una y es para aprovecharla; a Dios que me acompañó durante los buenos y malos momentos; a mi familia por el apoyo y consejos, a mis amigos que hicieron de este tiempo una experiencia inolvidable, a los docentes que guiaron mi camino durante estos 5 años de pregrado en especial al ingeniero Edgar Betancourt, por ser ejemplo a seguir durante este proceso, a Sandra por su colaboración y paciencia, docentes y directivas en general

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN.....	15
OBJETIVOS.....	16
GENERAL	16
ESPECÍFICOS.....	16
1. DESCRIPCION DEL PROYECTO	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3 PROYECTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN.....	19
1.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL CULTIVO.....	20
1.5 OBTENCIÓN DE LOS SENSORES	20
1.6 DELIMITACIONES DEL PROYECTO	21
2. DE LA EMPRESA	23
2.1 EXSIS SOFTWARE & SOLUCIONES SAS	24
2.2 MISIÓN.....	24
2.3 VISIÓN.....	24
2.4 FABRICA DE SOFTWARE.....	24
2.5 AGRICULTURA DE PRECISIÓN.....	25
2.6 PRÁCTICA EN EXSIS SOFTWARE & SOLUCIONES	26
3. MARCO TEORICO	27
3.1 AGRICULTURA DE PRECISIÓN.....	28
3.1.1 Origen.....	29
3.1.2 Trayectoria.....	29
3.2 ZIGBEE	29
3.3 SENSORES	31
3.3.1.1 <i>Sensor de Humedad Ambiente</i>	31
3.3.1.2 <i>Sensor de Temperatura Ambiente</i>	32
3.3.1.3 <i>Sensor de Humedad de Suelo</i>	33
3.3.1.4 <i>Sensor de Presión Atmosférica</i>	34
3.3.1.5 <i>Sensor de Radiación Solar</i>	35
3.3.1.6 <i>Estación Meteorológica</i>	36
3.4 WASPMOTE	38
3.5 MESHLIUM.....	40
4. DEL PROYECTO.....	41

4.1	COMPONENTES DEL HARDWARE	42
4.2	CONFIGURACIÓN DE WASPMOTE	44
4.3	CONFIGURACIÓN MÓDULO ZIGBEE.....	48
4.4	CONFIGURACIÓN MESHLIUM	51
4.4.1	Manager System	51
4.4.2	PuTTY (Cliente SSH)	51
4.5	BASE DE DATOS.....	52
4.6	CALIBRACIÓN Y PRUEBAS	53
4.7	FUNDAMENTACIÓN HUMANISTA	54
5.	VALOR AGREGADO Y PROYECTOS A FUTURO.....	56
5.1	APLICACIÓN WEB.....	57
5.2	AUTOMATIZACIÓN.....	57
	CONCLUSIONES.....	58
	ACLARACIÓN	60
	BIBLIOGRAFIA.....	61
	ANEXOS	63

LISTAS DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Dispositivos Adquiridos	21
Tabla 2. Centibar vs. Resistencia	34
Tabla 3. Modelo de Datos	51

LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Planteamiento del Problema.....	18
Figura 2. Cultivo Caracterizado en Mallas	20
Figura 3. Requerimientos del Proyecto.....	22
Figura 4. Actividades Desarrolladas	26
Figura 5. Esquema Agricultura de Precisión.....	28
Figura 6. Tecnologías Inalámbricas	30
Figura 7. Sensor Humedad Ambiente.....	32
Figura 8. Sensor Temperatura Ambiente.....	32
Figura 9. Sensor Humedad de Suelo.....	33
Figura10. Sensor Presión Atmosférica	35
Figura11. Sensor Radiación Solar	36
Figura12. Anemómetro	36
Figura13. Veleta.....	37
Figura14. Pluviómetro.....	38
Figura 15. Placa Waspnote.....	39
Figura 16. Componentes de Hardware Waspnote	42
Figura 17. Componentes de Hardware Meshlium.....	43
Figura 18. Configuración Board Waspnote IDE	44
Figura19. Configuración Serial Port Waspnote IDE	45
Figura20. Compilación Waspnote IDE	46
Figura21. Carga del Programa a Waspnote	47
Figura22. Configuración Modelo ZigBee.....	48
Figura23. Configuración Función ZigBee.....	49
Figura24. Configuración Final ZigBee.....	50
Figura25. PuTTY.....	52
Figura26. Prueba sensores Temperatura y Humedad	53
Figura27. Prueba sensores humedad de suelo	54

LISTAS DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Esquema General Proyecto Agricultura de Precisión	63
ANEXO B. Prueba Sensor Temperatura Ambiente.....	64
ANEXO C. Prueba Sensor Humedad Ambiente	65
ANEXO D. Prueba Sensor Humedad de Suelo	66

GLOSARIO

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): un amperio hora es una 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: es un 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.

Arduino: es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un Microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos de diferentes disciplinas.

Buenas prácticas agrícolas (BPA): 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.”

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.

Evapotranspiración: proceso por el cual el agua se pierde del suelo; una parte por acción de la energía del sol y las condiciones ambientales que rodean el suelo (evaporación), y otra parte por el metabolismo de la planta (transpiración).

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: es un equipo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas completamente diferentes a todos los niveles de comunicación.

GPRS (General Packet Radio Service): es una tecnología de conmutación de paquetes que permite transferencias de datos a través de redes celulares. Se utiliza para el Internet móvil, MMS (Multimedia Messaging System) y otras comunicaciones de datos. También se conoce como 2.5G.

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.

Hercio (Hz): es una unidad de frecuencia en el sistema internacional. Se define como el número de ciclos de onda completos por segundo.

Laboratorio certificado: laboratorio que realiza análisis químicos y físicos de suelos, aguas y tejidos vegetales, cumpliendo con la normatividad actual y certificado por una entidad competente.

Longitud de Onda (λ): define la longitud espacial de un ciclo de onda.

Manejo fitosanitario: todas las actividades que se realizan dentro del cultivo para prevenir el desarrollo de plagas y enfermedades.

Manual de procedimientos: documento que define los pasos para realizar un proceso.

Meshlium: es un router Linux desarrollado por Libelium, que contiene 5 tecnologías diferentes: Wifi 2.4GHz, Wifi 5GHz, GPRS, Bluetooth y ZigBee. Posee una carcasa de aluminio IP65.

PHP (Hypertext Preprocessor): es un lenguaje de código abierto especialmente adecuado para desarrollo web.

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.

Protocolo: es un conjunto de reglas usadas por dispositivos electrónicos para comunicarse unos con otros a través de una red por medio de intercambio de mensajes.

Registro: documento que evidencia la ejecución de alguna actividad o proceso.

Router: es un 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: transformándola normalmente en energía eléctrica con el objetivo de cuantificar y manipular esta información.

Topología: es la forma lógica y geométrica de una red, es la configuración adoptada por las estaciones de trabajo para conectarse entre sí. Entre las más comunes encontramos las de anillo, estrella, malla, árbol, entre otras.

Trazabilidad: proceso mediante el 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.

Waspote: es un dispositivo sensorial desarrollado por Libelium, especialmente orientado a desarrolladores. Trabaja sobre protocolo ZigBee a frecuencias 2.4GHz, siendo capaz de obtener enlaces de hasta 12km.

WiFi: es una tecnología inalámbrica muy utilizada a nivel mundial, también conocido como el estándar IEEE 802.11.

ZigBee: es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance, está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de mejorar las condiciones agrícolas a nivel mundial de la mano con el avance tecnológico presentado por la humanidad en el último siglo, ha permitido que estos dos campos que parecían tan distantes se unieran y generarán nuevas alternativas que permitieran controlar y optimizar las condiciones de un cultivo, logrando así mejores resultados y productos de mejor calidad para el usuario final.

El sector agrícola en Colombia forma parte del gremio con mayor importancia dentro de la economía del país, además de estar en un crecimiento considerable; este sector se encuentra en evolución constante incursionando nuevas posibilidades donde la tecnología entra a jugar un papel importante, algunos de los modelos desarrollados para la siembra, crecimiento, cosecha y pos cosecha, hacen uso de dispositivos electrónicos y de comunicación; dentro de los cuales se encuentra la agricultura de precisión, modelo el cual hace uso de dispositivos sensoriales con el objetivo de mantener un monitoreo constante del estado del cultivo, dispositivos de comunicación autónomos manteniendo información constante de los datos leídos, dispositivos de posicionamiento global, imágenes satelitales, herramientas de software y la red mundial (internet).

Los proyectos de innovación generalmente no tienen la acogida esperada en el campo agrícola, ya que los especialistas en esta área prefieren no arriesgarse con métodos que pueden entorpecer los procesos del cultivo generando retrasos y pérdidas.

La forma tradicional de realizar el acompañamiento a los cultivos ha frenado los avances en cuanto a la calidad de la cosecha, el modelo de agricultura de precisión busca optimizar los procesos en las actividades diarias desarrolladas dentro de un cultivo, los dispositivos sensoriales, de comunicación, almacenamiento y control son imprescindibles a la hora de implementar una solución basándose en este modelo.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar un sistema de agricultura de precisión para adquirir información sobre un cultivo de tomate en el municipio de Sutamarchán, (Boyacá – Colombia) integrando tecnologías sensoriales, de comunicación y de almacenamiento.

ESPECÍFICOS

- Configurar los sensores y comunicarlos mediante ZigBee.
- Realizar un estudio del cultivo, con caracterización de las mallas, altura del cultivo y contenido de elementos químicos.
- Diseñar un sistema de adquisición de datos donde se tome en cuenta: Humedad Ambiente, Temperatura Ambiente, Humedad del suelo, Presión Atmosférica, niveles de precipitación, Radiación Solar, velocidad y dirección del viento.
- Implementar el sistema de Agricultura de Precisión haciendo uso de los sensores: 808H5V5, MCP9700A, WATERMARK, MPX4115A, SQ-110, realizando la comunicación mediante ZigBee y almacenamiento en base de datos (MySQL).

CAPITULO I

1.DESCRIPCION DEL PROYECTO

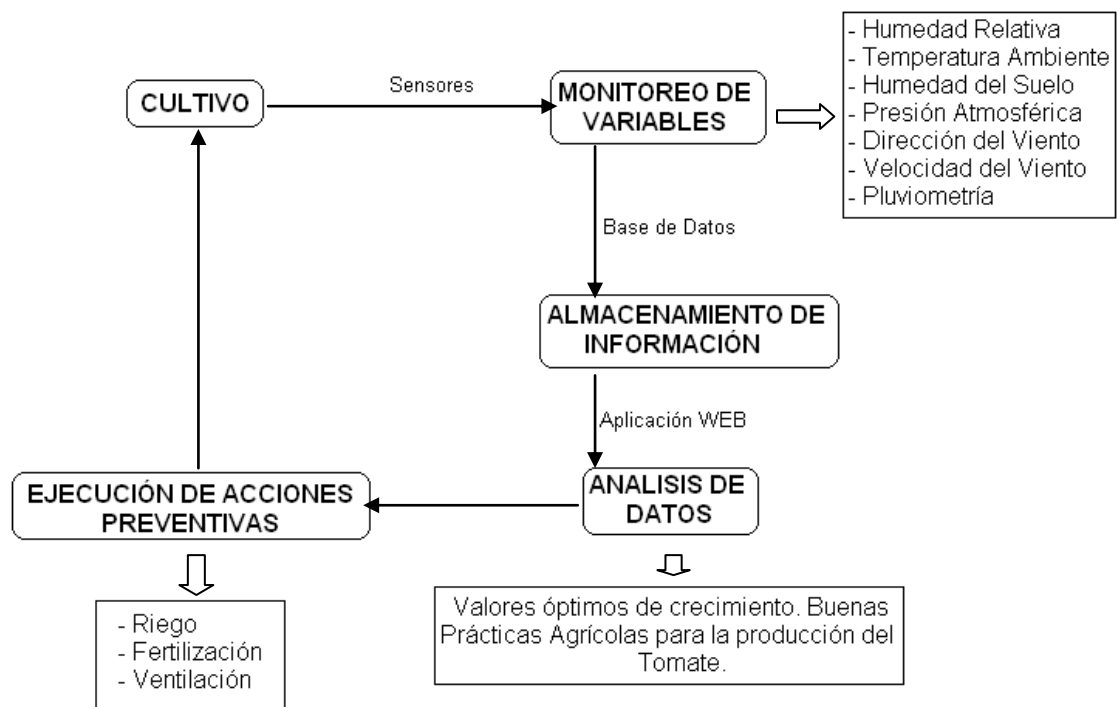
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Es importante aumentar los niveles de producción dentro del sector Agrícola implementando un modelo de gestión con control de las etapas de crecimiento de los cultivos?

El sector Agrícola Colombiano se ha visto estancado a niveles de producción ya que las formas tradicionales de tratar a los cultivos ha mantenido la calidad y cantidad del producto en un mismo punto; para estar en una constante evolución, algunos grandes productores han comenzado a implementar modelos de agricultura desarrollados luego de largos periodos de tiempo de estudio logrado por profesionales en el tema, siendo básicamente modelos desarrollados en el exterior, estos modelos requieren de inversiones económicas importantes, dejando un poco excluidos a los pequeños agricultores.

Teniendo en cuenta que la demanda de productos va en un constante incremento debido al crecimiento de la población, es importante realizar cambios que permitan que los cultivos logren suplir las necesidades del mercado, además de comenzar a comercializar un producto de mayor calidad, siendo beneficioso tanto para el productor como para el consumidor.

Figura 1. Planteamiento del Problema



Fuente: El Autor

1.2 JUSTIFICACIÓN

“El modelo de Agricultura de Precisión es un concepto de gestión de cultivos, basado en la existencia de variabilidad en el campo, hace uso de las tecnologías de GPS (Global Position System), sensores, satélites e imágenes aéreas para estimar, evaluar y entender dichas variaciones. La información recolectada puede ser usada para evaluar con mayor precisión el estado del suelo prediciendo con mayor exactitud la producción de los cultivos.”^[1]

Los sistemas de agricultura de precisión están en crecimiento ya que la urgencia del cuidado del medio ambiente está a la orden del día, además de colaborar con una mayor productividad en los cultivos; aunque estos sistemas no se han implementado en grandes proporciones, se está investigando mucho acerca del tema y su correspondiente viabilidad, dando respuestas favorables para el sector agrícola.

Teniendo en cuenta estos motivos, Exsis Software y Soluciones SAS ha decidido crear el Proyecto de Agricultura de precisión con el principal objetivo aumentar la producción en el sector Agrícola además de una optimización de recursos, pretendiendo entrar a futuro como un fuerte competidor dentro del mercado nacional e internacional.

1.3 PROYECTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Se ha querido desarrollar el proyecto de agricultura de precisión con el principal objetivo de no solo contribuir a la constante evolución del sector agrícola en Colombia, sino ingresar este tipo de tecnología a este sector que es tan influyente tanto nacional como internacionalmente. El proyecto dentro de su amplio contenido nos permite desarrollar cosas importantes para la ingeniería y la agricultura, ya que integra conocimientos de ambas disciplinas en un objetivo en común, en este caso: optimizar el proceso de siembra y crecimiento de un cultivo de tomate.

Para que un cultivo produzca en este caso tomates de excelente calidad, es vital que las condiciones climáticas de las plantas estén en un rango óptimo donde su crecimiento va a ser muy cercano al ideal. Estas variables principalmente para cultivos bajo un ambiente protegido son: Humedad Ambiente, temperatura ambiente, humedad del suelo, velocidad y dirección del viento (para la apertura de cortinas), radiación solar, pluviometría y presión atmosférica; teniendo información sobre estas variables, el cultivo se verá afectado en forma positiva ya que se podrán tomar decisiones más acertadas sobre labores de ventilación y riego.

La toma de estas variables se hará mediante sensores específicos para cada uno de los propósitos: Sensor de Humedad Ambiente, Sensor de Humedad del Suelo, Sensor de Temperatura Ambiente, Sensor de Presión Atmosférica, Sensor de Dirección del Viento, Sensor de Velocidad del Viento, Sensor de Pluviometría y Sensor de Radiación Solar; para la obtención de estos sensores se ha contactado a una empresa Española especializada en integración y distribución de sensores para diferentes propósitos técnicos, adicional se ha adquirido un concentrador, y las placas basadas en Arduino donde se ubicarán otra placa encargada de alojar a los sensores que tomarán los datos.

[1] Tomado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Agricultura_de_precisi%C3%B3n

Tabla 1. Dispositivos Adquiridos

<i>Referencia</i>	<i>Descripción</i>	<i>Precio</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Importe</i>
WZBP-SMA2	Wasmote ZB PRO SMA 2 DBI	147,00 €	7	1.029,00 €
WAGR	Wasmote Agriculture Sensor Board	95,00 €	6	570,00 €
WAGRPRO	Wasmote Agriculture Sensor Board PRO	225,00 €	1	225,00 €
9256	Wheater Meters	125,00 €	1	125,00 €
9251	Quantum Sensor	250,00 €	1	250,00 €
9203	Temperature Sensor	2,00 €	7	14,00 €
9204	Humidity Sensor	19,00 €	7	133,00 €
9248	Watermark Soil Moisture Sensor	43,00 €	18	774,00 €
9250	Air Pressure Sensor	25,00 €	1	25,00 €
WSD	microSD 2Gb Card (5 units)	40,00 €	2	80,00 €
6041	6600mA/h Rechargeable Battery	29,00 €	7	203,00 €
WGZBP-SMA2	Wasmote Gateway ZB PRO SMA 2 DBI	80,00 €	1	80,00 €
MZ	Meshlium ZigBee PRO-AP	670,00 €	1	670,00 €

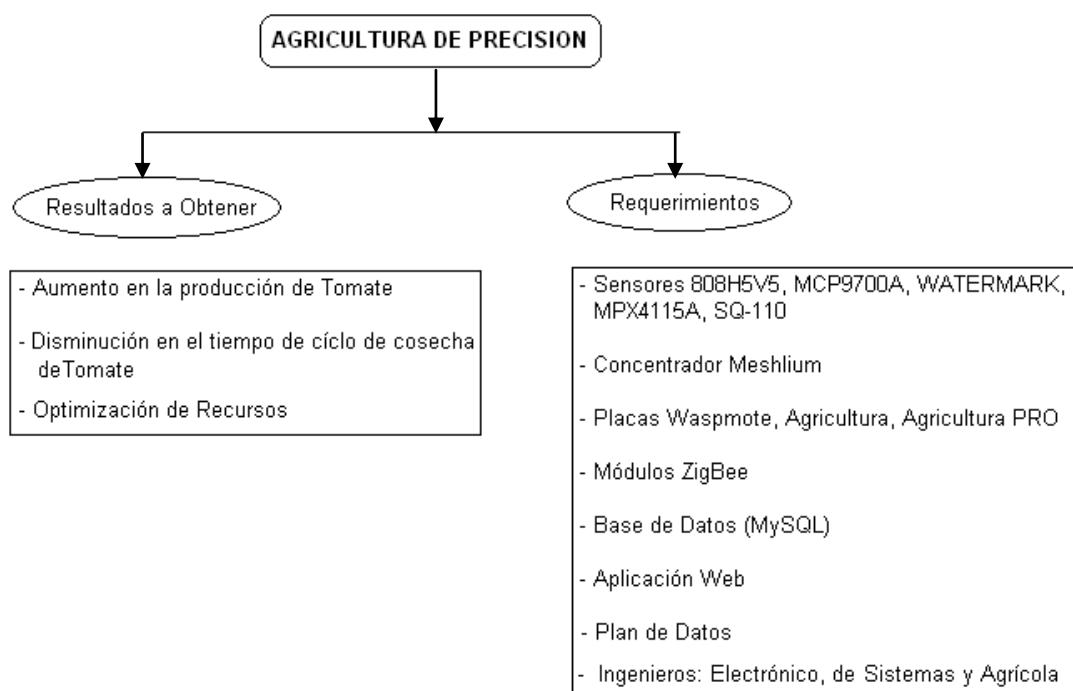
Fuente: Libelium Comunicaciones Distribuidas SL

1.6 DELIMITACIONES DEL PROYECTO

Si bien es sabido que la agricultura de precisión es un modelo interdisciplinario de innovación agrícola, para su desarrollo inicial es necesaria una importante inversión económica, ya que el costo de la tecnología a utilizar en general es algo elevada, teniendo en cuenta que esta tecnología es especializada, escasea su existencia dentro del territorio nacional.

Otro de los inconvenientes más trascendentes para la adopción del sistema de agricultura de precisión, es la cultura generacional, ya que la gran mayoría de agricultores prefiere mantener sus sistemas de riego, ventilación, entre otros, de forma tradicional.

Figura 3. Requerimientos del Proyecto



Fuente: El Autor

CAPITULO II

2. DE LA EMPRESA

2.1 EXSIS SOFTWARE & SOLUCIONES SAS

“Es una empresa de recursos y capital netamente Colombiano que dio inicio a sus actividades como proveedor de soluciones a la medida, con el fin de brindar a nuestros clientes una solución completa e integrada a sus necesidades específicas. El objetivo primordial de Exsis Software & Soluciones desde su fundación en 1994, ha sido ofrecer soluciones de software que permitan satisfacer las necesidades y expectativas de manejo de información de sus clientes, utilizando los últimos avances tecnológicos y asegurando calidad tanto en la prestación de servicios como en la prestación de servicios.”^[2]

2.2 MISIÓN

“En Exsis Software & Soluciones se mantiene como objetivo principal, ofrecer soluciones de valor al cliente a costos razonables, cumpliendo con normas de calidad establecidas garantizando la satisfacción de los mismos. Se dedica al desarrollo de software a la medida y a la prestación de servicios relacionados como lo son el soporte, consultoría de TI, diseño e implementación de redes de comunicación.”^[3]

2.3 VISIÓN

“La visión de Exsis Software & Soluciones es ser empresa líder en el análisis, diseño y desarrollo de sistemas de información, haciendo uso de tecnología de punta que ayuden a satisfacer las necesidades de los clientes en mercados nacionales e internacionales.”^[4]

2.4 FABRICA DE SOFTWARE

“La empresa basa su conocimiento y servicios en modelar, construir componentes y aplicaciones a la medida. Cuenta actualmente con procedimientos de desarrollo certificados ISO 9001:2000 y caracterizada por trabajar con tecnología de punta.

Los servicios de fábrica de software se caracterizan principalmente por:

- ✓ *Cada componente fabricado es validado, verificado y probado rigurosamente antes de ser integrado; de esta manera se logra un alto nivel de calidad y confiabilidad.*
- ✓ *Trabaja con Gerencia de Proyectos orientada a la administración y manejo del riesgo.*
- ✓ *El cliente es parte activa del proceso de diseño.*
- ✓ *Seguimiento del cliente y satisfacción de este mediante procesos certificados ISO 9001:2000.*

[2] Tomado de: <http://www.exsis.com.co>

[3] Ibidem

[4] Ibidem

- ✓ *Personal altamente capacitado, responsable y calificado.*
- ✓ *Un Desarrollo de software a la medida garantiza disminución de costos para la empresa, puesto que es más rentable que tener un departamento de tecnología interno, cuyo margen de ganancia se encontraría entre un 50% y 80%.*
- ✓ *Reducción en el costo de selección y reclutamiento de personal.*
- ✓ *Experiencia garantizada en el desarrollo y gerenciamiento de proyectos de software.*
- ✓ *Protección financiera, el cliente solo paga cuando se han alcanzado las metas por fases del proyecto.^[5]*

2.5 AGRICULTURA DE PRECISIÓN

“Desde un punto de vista agronómico, la agricultura de precisión se define como "La aplicación de tecnologías y principios para administrar la variabilidad local y temporal asociada con todos los aspectos de la producción agrícola a fin de mejorar el rendimiento de los cultivos, la rentabilidad y la calidad del medio ambiente". Aunque esto sea correcto, puede resultar difícil aplicar esta definición de libro de texto a sus operaciones agrícolas diarias. La agricultura de precisión se define más fácilmente como "El proceso de poner el producto adecuado, la cantidad adecuada, en el lugar adecuado y en el momento adecuado".

Exsis Software y Soluciones brinda acompañamiento desde la preparación del terreno hasta la plantación, administración de nutrientes, gestión de plagas y fases de cosecha de un ciclo de cultivo.

Los servicios que Exsis Software & Soluciones presta en cuanto a agricultura de precisión son:

- ✓ *Precision Harvest*
- ✓ *Precision Plant*
- ✓ *Precision Applied*
- ✓ *Boundary Maps*
- ✓ *Precision Seed*
- ✓ *Precision Guide*
- ✓ *Precision Prep^[6]*

[5] *Ibidem*

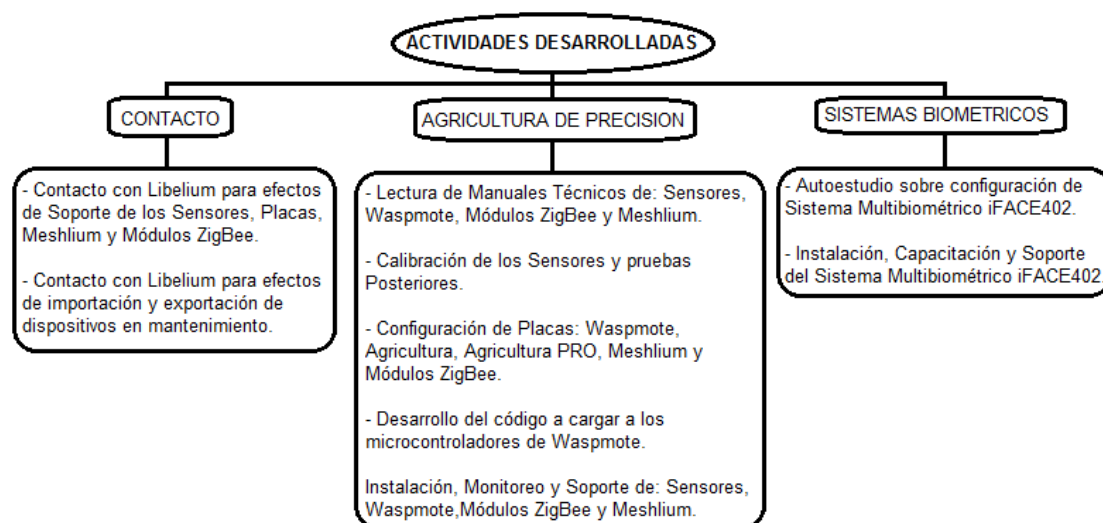
[6] *Ibidem*

2.6 PRÁCTICA EN EXSIS SOFTWARE & SOLUCIONES

Durante el periodo de práctica en la empresa Exsis Software & Soluciones SAS se desempeñaron labores de soporte técnico en protocolos de comunicación tales como: ZigBee, RS232, RS485, entre otros; además se realizó la calibración y configuración de sensores especializados en la toma de medidas de variables climáticas, normalmente utilizados en el monitoreo de cultivos y cuartos fríos. De igual manera se realizó la configuración de un Router especial utilizado en aplicaciones específicas como: Smart Cities, Smart Environment, Smart Water, Smart Metering, Security and Emergencies, Retail, Logistic, Industrial Control, Smart Agriculture, Smart Animal Farming, Domotic and Home Automation, eHealth, también se desarrolló un código encargado de la toma de datos y transmisión de datos y la correspondiente programación de un Microcontrolador con este código. Se realizó el emparejamiento entre sensores los cuales se comunican mediante ZigBee, Router (ZigBee-GPRS), para su almacenamiento en base de datos; todo esto dentro del proyecto de agricultura de Precisión 'Exsis AP'.

Adicional al soporte brindado en el proyecto 'Exsis AP' se prestó una importante colaboración en la configuración, comunicación, instalación y soporte en el proyecto de Sistema de Reconocimiento Facial y biometría Dactilar.

Figura 4. Actividades Desarrolladas



Fuente: El Autor

CAPITULO III

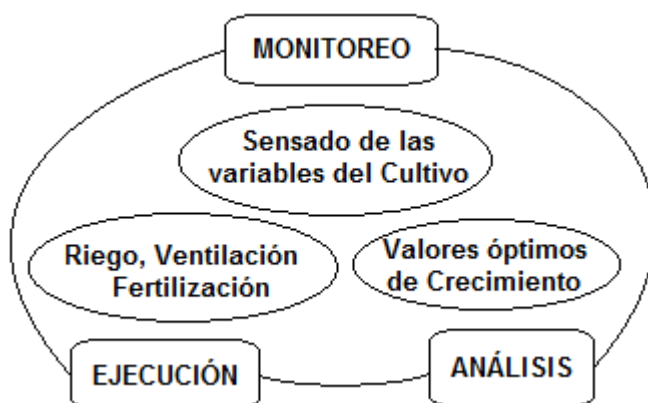
3. MARCO TEORICO

3.1 AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La agricultura de precisión es un concepto de gestión de cultivos, basado en la existencia de variabilidad en campo. Haciendo uso de las tecnologías de GPS (Global Position System), sensores, satélites e imágenes aéreas para estimar, evaluar y entender dichas variaciones. La información recolectada puede ser usada para evaluar con mayor precisión el estado del suelo prediciendo con más exactitud la producción de los cultivos.

“El principio de actuación en el que se fundamenta la agricultura de precisión es perfectamente adaptable a cualquier otra actividad; tras una primera fase de toma de datos, se pasa a una segunda fase de análisis e interpretación de los datos obtenidos, a partir de ellos establecer un procedimiento de actuación de acuerdo con las necesidades.”^[7]

Figura 5. Esquema Agricultura de Precisión



Fuente: BURGOS Edmundo, FERRI Silvina, MALACRIDA Francisco.

En la agricultura de precisión es necesario mantener un esquema retroalimentado el cual permite mantener un conocimiento constante sobre el estado del cultivo al cual se le aplica el modelo de agricultura de precisión, este esquema como está ilustrado (**Ver Figura5**) – Determinar, Analizar, Actuar (para volver a comenzar el ciclo) – invita a leer datos, conocer la mayor cantidad de información sobre el sistema a controlar, luego a realizar un análisis sobre qué está pasando en el cultivo para poder culminar con la acción y el actuar dependiendo de los resultados del análisis.

[7] Tomado de: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/aporte-ingenieria-agrimensura-agricultura-precision/aporte-ingenieria-agrimensura-agricultura-precision.pdf>

3.1.1 Origen

Enciso, Porter, Pèriés [8] Desde hace aproximadamente 20 años, la agricultura de precisión ha sido objeto de estudios en los cuales se busca un control de variables en tiempo real, el mayor número de investigaciones de agricultura de precisión se han realizado en Estados Unidos y Australia, siendo los más interesados en este tema y donde mayor desarrollo se ha notado; España ha desarrollado algunas tecnologías de automatización y control de algunas de las variables vitales dentro de un cultivo, el uso de PLC, sensores, motores, dispositivos electrónicos en general están marcando la diferencia a la hora de optimizar un proceso bien sea dentro o fuera de un cultivo. En Colombia estas técnicas no son comunes aunque algunos proyectos de innovación han logrado cambiar un poco las ideas de los productores con respecto a sus cultivos.

3.1.2 Trayectoria

En Colombia no se ha tenido gran recorrido, debido a los grandes costos de inversión que genera la implementación de esta tecnología (los sensores, el software entre otros elementos) teniendo un valor aproximado de \$20'000.000, sin contar el mantenimiento de estos dispositivos.

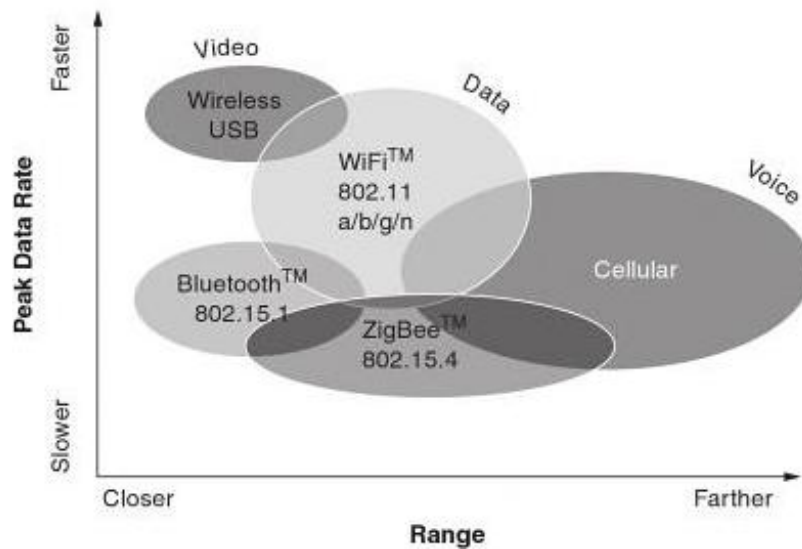
El cultivar de forma tradicional como las generaciones anteriores han venido haciendo, ha impedido la optimización de estos procesos, teniendo en cuenta que el sector agrícola cuenta con gran crecimiento de territorio, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural ha dado a conocer que el crecimiento de la frontera agrícola es de aproximadamente cinco (5) millones de hectáreas, además el variado clima existente en Colombia y sus diferentes pisos térmicos permiten una importante diversidad de cultivos, sin embargo no es de conocimiento común el modelo de agricultura de precisión ya que durante la elección de la finca para el desarrollo del proyecto se realizaron visitas a varias fincas de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, teniendo como resultado en común que ninguna tiene implementada esta tecnología y en algunos casos ni siquiera se ha tenido en consideración esta opción.

3.2 ZIGBEE

“Dentro de las tecnologías de comunicaciones, las inalámbricas han sido en gran parte las revolucionarias teniendo en cuenta que no son las más rápidas ni las más confiables, pero la facilidad al no hacer uso de cables han hecho de estas tecnologías imprescindibles a la hora de realizar redes de comunicación. Dentro de estas tecnologías encontramos WiFi, GSM, Bluetooth y ZigBee la cual tiene algunas prestaciones diferentes a las otras tecnologías, acomodándose a los requerimientos del proyecto.”^[9]

[8] Tomado de: http://txspace.di.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87470/pdf_2437.pdf?sequence=1[9] Tomado de: <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>

Figura 6. Tecnologías Inalámbricas



Fuente: DREW Gislason "ZIGBEE WIRELESS NETWORKING" (2008)

"ZigBee es un Estándar de comunicaciones inalámbricas, desarrollado por la ZigBee Alliance, este estándar más que ser una tecnología es un conjunto de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante dentro de sus desarrollos. ZigBee es basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal y tiene como principal objetivo implementarse en aplicaciones que requieran comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y bajo consumo de energía logrando así la optimización de la vida útil de las baterías.

La ZigBee Alliance es una comunidad internacional dentro de la cual encontramos multinacionales como: Motorola, Mitsubishi, Philips, Samsung, Honeywell, Siemens, entre otras. Este estándar se desarrollo pensando en aplicaciones donde se necesite una comunicación segura, de bajo consumo energético y de bajo costo, además de proporcionar una comunicación radial y omnidireccional.^[10]

Gislason[11] ZigBee permite configuración en 3 topologías diferentes las cuales son muy usadas en redes de comunicaciones, la topología usada en el proyecto es la de estrella por facilidad y versatilidad.

- Topología de malla: al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones.
- Topología en estrella: el coordinador se sitúa en el centro.
- ZigBee opera en bandas libres 2.4 GHz, 868 MHz para Europa y 915 MHz para Estados Unidos.
- Topología en árbol: el coordinador será la raíz del árbol.

[10] Ibidem

[11] Gislason. (2008). Zigbee Wireless Networking. United States.

Dentro de las características más importantes de ZigBee se encuentran:

- La velocidad de transmisión promedio es de 250 Kbps.
- Aumenta la confiabilidad de la red, ya que entre más nodos existan dentro de una red, entonces, mayor número de rutas alternas existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino.
- Cada red ZigBee se identifica de las demás redes, permitiendo la existencia de varias redes ZigBee dentro de un mismo canal de comunicación.
- ZigBee opera en la misma frecuencia que WiFi y Bluetooth sin verse afectado su desempeño gracias a su baja tasa de transmisión.
- Su topología en malla permite recuperar a la red en caso de problemas en la comunicación, aumentando su confiabilidad.

“Dentro de los dispositivos ZigBee, se encuentran varios tipos de configuraciones, según su funcionalidad, estos tipos son:

- *Coordinador (ZC). Debe existir uno dispositivo coordinador por red. Controla la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.*
- *Router (ZR). Hace las veces de puente, Interconectando dispositivos separados en la topología de la red.*
- *Dispositivo final (ZED). Se puede comunicar con el nodo ‘superior’ (coordinador o router), pero sin la función de transmitir información a otros dispositivos, este nodo se mantiene dormido la mayor parte del tiempo. Un ZED no requiere mayor cantidad de memoria siendo más económicos que los demás dispositivos ZigBee.”^[12]*

3.3 SENSORES

3.3.1.1 Sensor de Humedad Ambiente

Sencera Co, 808H5V5 humidity transmitter

“Sensor analógico que entrega un voltaje proporcional a la Humedad Ambiente del ambiente. El rango de señal del sensor esta fuera del rango permitido en la entrada de Waspote por lo cual Libelium ha adaptado la salida a un rango de valores entre 0.48V y 2.34V.”^[13]

[12] Tomado de: http://www.zigbee.es/wp/?page_id=6

[13] Tomado de: http://www.Libelium.com/documentation/Waspote/agriculture-sensor-board_esp.pdf, pág 09

Figura 7. Sensor Humedad Ambiente



Fuente: Libelium, "Placa de agricultura: Guía técnica"

Especificaciones Técnicas.

- Rango de medida: 0 ~ 100%RH
- Señal de salida: 0,8 ~ 3.9V (25°C)
- Precisión: $\pm 4\%$RH (a 25°C, rango 30 ~ 80%), $\pm 6\%$RH (rango 0 ~ 100)
- Consumo típico: 0.38mA
- Consumo máximo: 0.5mA
- Alimentación: 5VDC $\pm 5\%$
- Temperatura de operación: -40 ~ +85°C
- Tiempo de respuesta: <math>< 15</math> segundos
- Dimensión: 12.2x8x4 mm.

3.3.1.2 Sensor de Temperatura Ambiente

Microchip, MCP9700A Low-Power Linear Active Thermistor

"El MCP9700A 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)."^[14]

Figura 8. Sensor Temperatura Ambiente



Fuente: Libelium, "Placa de agricultura: Guía técnica,"

[14] Ibidem, pág 11

- Rango de medida: $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$
- Tensión de salida (0°C): 500mV
- Sensibilidad: 10mV/ $^{\circ}\text{C}$
- Precisión: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (rango $0^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$), $\pm 4^{\circ}\text{C}$ (rango $-40 \sim +125^{\circ}\text{C}$)
- Consumo típico: 6 μA
- Consumo máximo: 12 μA
- Alimentación: 2.3 ~ 5.5V
- Temperatura de operación: $-40 \sim +125^{\circ}\text{C}$
- Tiempo de respuesta: 1.65 segundos (63% de respuesta de +30 a $+125^{\circ}\text{C}$)

3.3.1.3 Sensor de Humedad de Suelo

Irrrometer, Watermark Soil Moisture Sensor

“El Watermark de Irrrometer es un sensor de tipo resistivo formado por dos electrodos resistentes a la corrosión encapsulados bajo una capa de yeso. Ofrece un método indirecto de medición de la humedad del suelo, a partir de la medida de extracción del agua en el terreno en centibares, con un rango aceptable entre 0 y 200 centibares. El sensor básicamente es una resistencia variable lograda por dos electrodos dentro de una barrera permeable, es decir, que cada valor de resistencia del sensor corresponde linealmente a un valor de presión en centibares, que a su vez se toma como indicador de un valor de humedad en el suelo.”^[15]

Figura 9. Sensor Humedad de Suelo



Fuente: Libelium, “Placa de agricultura: Guía técnica,”

- Rango de medida: 0 ~ 200cb
- Rango de frecuencia: 50 ~ 10000Hz aproximadamente
- Diámetro: 22mm
- Longitud: 76mm
- Bornes: AWG 20
- Rango de medición de 0 a 239 cb (kPa)
- Totalmente de estado sólido

[15] Tomado de: Watermark Soil Moisture Sensor — Model 200SS. Riverside, California, United States.

- No se disuelven en el suelo
- No es afectado por temperaturas bajo cero
- No requiere mantenimiento

Tabla 2. Centibar vs. Resistencia

Soil Water Tension (cbar)	Sensor Resistance (Ohm)
0	550
9	1000
10	1100
15	2000
35	6000
55	9200
75	12200
100	15575
200	28075

Fuente: Datasheet Irrrometer, Watermark Soil Moisture Sensor

3.3.1.4 Sensor de Presión Atmosférica

Motorola, MPX4115A Integrated Silicon Pressure Sensor

“Convierte la presión atmosférica en un voltaje analógico de valor comprendido en un rango entre 0.2V y 4.8V. Al exceder el valor máximo admitido por Waspnote se ha adaptado su salida a un rango entre 0.12V y 2.88V.”^[16]

- Rango de medida: 15 ~ 115kPa
- Señal de salida: 0,2 ~ 4,8V (0 ~ 85°C)
- Sensibilidad: 46mV/kPa
- Precisión: $\leq \pm 1,5\%V$ (0 ~ 85°C)
- Consumo típico: 7mA
- Alimentación: 4.85 ~ 5.35V
- Temperatura de operación: -40 ~ +125°C
- Temperatura de almacenamiento: -40 ~ +125°C
- Tiempo de respuesta: 20ms

[16] Tomado de: http://www.Libelium.com/documentation/Waspnote/agriculture-sensor-board_esp.pdf, pág 06

Figura10. Sensor Presión Atmosférica



Fuente: Libelium, "Placa de agricultura: Guía técnica,"

3.3.1.5 Sensor de Radiación Solar

Apogee, SQ-110 Quantum Sensor

"Presenta una salida en tensión proporcional a la intensidad de luz en el espectro visible, específicamente calibrado para detección de radiación solar. Presenta un valor máximo de 400mV de salida en condiciones de máxima radiación."^[17]

- Responsividad: 0.200mV por $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
- Salida en radiación máxima: 400mV ($2000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Rango lineal: 1000mV ($5000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Sensibilidad: $5.00\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}/\text{mV}$
- Rango espectral: 400 ~ 700nm
- Precisión: $\pm 5\%$
- Repetibilidad: $\pm 1\%$
- Diámetro: 2.4cm
- Longitud del cable: 3m
- Temperatura de operación: $-40 \sim 55^\circ\text{C}$
- Humedad de operación: 0 ~ 100%RH
- Dimensión: 2,4 cm de diámetro por 2,75 cm de alto

[17] Ibidem, pág 24

Figura11. Sensor Radiación Solar



Fuente: Libelium, "Placa de agricultura: Guía técnica"

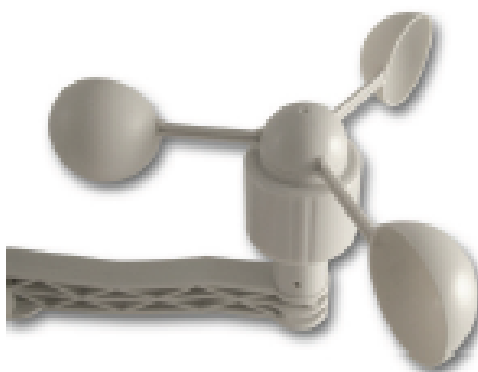
3.3.1.6 Estación Meteorológica

Libelium Comunicaciones Distribuidas [18] La conexión se realiza a través de dos conectores RJ11, uno para el pluviómetro y el otro compartido por la veleta y el anemómetro; la placa de agricultura PRO posee dos (2) entradas RJ11 hembra para su conexión y toma de datos desde la estación meteorológica.

Anemómetro

"El anemómetro está formado por un switch normalmente abierto que se activa un 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."^[19]

Figura12. Anemómetro



Fuente: Libelium, "Placa de agricultura: Guía técnica,"

[18] *Ibidem*, pág 28

[19] *Ibidem*, pág 28

- Sensibilidad: 2.4km/h / vuelta
- Rango de Velocidad de Viento: 0 ~ 240km/h
- Altura: 7.1 cm
- Longitud del brazo: 8.9 cm
- Conector: RJ11

Veleta

“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 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°).” ^[20]

Figura13. Veleta



Fuente: Libelium, “Placa de agricultura: Guía técnica”

- Altura:
- 8.9cm
- Longitud: 17.8cm
- Precisión máxima: 22.5°
- Rango de resistencia: 688Ω ~ 120kΩ
- Conector: RJ11

Pluviómetro

“El pluviómetro está formado por un vasija que cierra momentáneamente un interruptor cada vez que se llena (0.28mm) vaciándose de manera automática a continuación. El resultado es una señal de pulsos digitales cuya frecuencia es proporcional a la intensidad de lluvia.” ^[21]

[20] Ibidem, pág 30

[21] Ibidem, pág 32

Figura14. Pluviómetro



Fuente: Libelium, "Placa de agricultura: Guía técnica"

- Altura: 9.05cm
- Longitud: 23cm
- Capacidad del cubilete: 0.28mm de lluvia
- Conector: RJ11

3.4 WASPMOTE

Libelium Comunicaciones Distribuidas [22] Es un dispositivo sensorial especialmente orientado a desarrolladores. Trabaja sobre diferentes protocolos (ZigBee, WiFi, GPRS) a frecuencias respectivas de (2.4GHz, 2.4GHz, 900MHz), siendo capaz de obtener enlaces de hasta 12km con línea de vista sobre protocolo ZigBee. Cuenta con un modo de hibernación el cual optimiza el consumo de la batería, la corriente en modo hibernación es de 0.7 μ A.

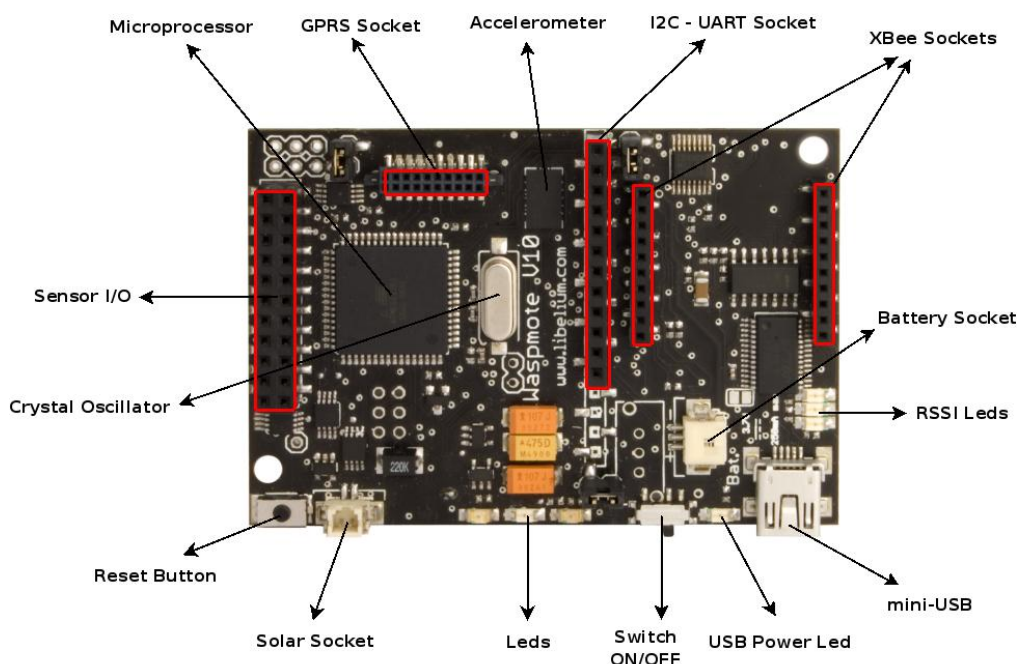
Libelium suministra junto con las placas, el concentrador y los sensores: un entorno de desarrollo (IDE) completamente Open Source (IDE + librerías + compilador) cuenta con un manual de programación además de un foro online con ingenieros especializados, facilitando la programación del Microcontrolador de la placa de Arduino.

La placa Wasmote cuenta en su hardware con:

- Microcontrolador: ATmega1281
- Frecuencia: 8MHz
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- FLASH: 128KB
- SD Card: 2GB
- Peso: 20gr
- Dimensiones: 73.5 x 51 x 13 mm
- Rango de Temperatura: [-20°C, +65°C]

[22] Tomado de: http://www.Libelium.com/documentation/Wasmote/Wasmote-technical_guide_esp.pdf

Figura 15. Placa Wasp mote



Fuente: Libelium, "Wasp mote: Guía técnica"

Para evitar daños provocados por mala manipulación de cualquiera de los elementos, fue necesario previo a su configuración una lectura exhaustiva de los manuales y las recomendaciones a tener en cuenta, estos manuales existentes en la página del fabricante.

Dentro de las recomendaciones encontramos las del tipo eléctrico:

Valores de Funcionamiento

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

Valores Máximos

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

3.5 MESHLIUM

Libelium Comunicaciones Distribuidas [23] Meshlium es un Router Linux basado en Debian Lenny 5.0.10, que contiene hasta 5 tecnologías 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 ó Bluetooth, así como las opciones de almacenamiento para los datos recibidos de los sensores.

El acceso a Meshlium se puede realizar mediante 2 fuentes diferentes:

1. **Manager System:** una interfaz web que viene con Meshlium. Permite controlar todas las interfaces y las opciones del sistema de una forma rápida y segura.
2. **Consola SSH:** para usuarios expertos que necesitan acceso directo a Meshlium mediante la consola Shell.

[23] Tomado de: http://www.Libelium.com/documentation/mesh_extreme/Meshlium-technical_guide_esp.pdf

CAPITULO IV

4. DEL PROYECTO

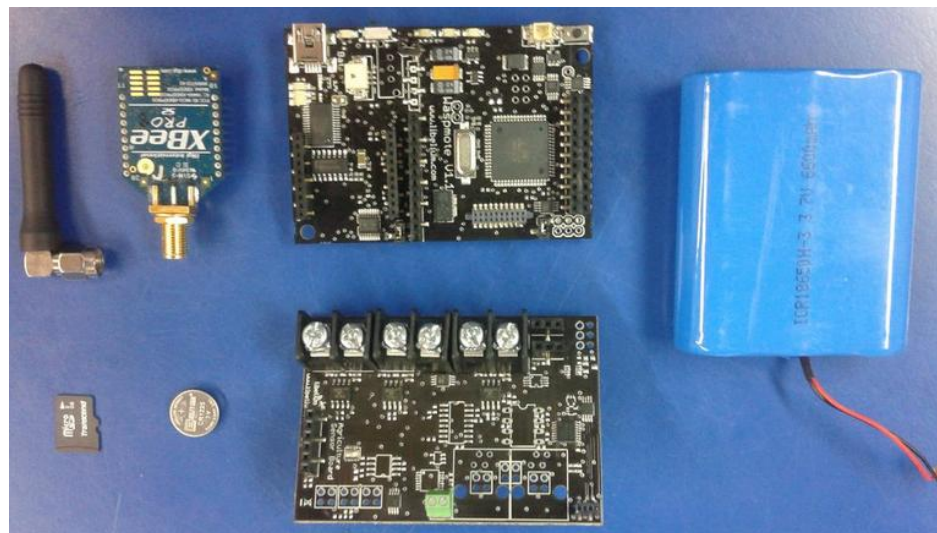
4.1 COMPONENTES DEL HARDWARE

Las placas Wasmote poseen hardware para la adaptación de una batería auxiliar con el fin de mantener alimentado al RTC (*Real Time Clock*) encargado de despertar el Microcontrolador del modo *hibernate*, también permite la inserción de una tarjeta micro SD de máximo 2Gb utilizada para el almacenamiento de datos en caso de fallos en el envío o interrupción de la alimentación del Meshlium, sabiendo que este es el encargado de la recepción de datos, manteniendo una pérdida mínima de información.

A continuación los elementos que conforman el interior de la caja:

- Placa Wasmote
- Placa de Agricultura
- Modulo ZigBee
- Antena
- Batería Auxiliar 3V
- Tarjeta micro SD
- Batería de 3.7V - 6600mAh

Figura 16. Componentes de Hardware Wasmote



Fuente: El Autor.

El Meshlium es el elemento encargado de la recepción de la información para su correspondiente envío a un servidor por medio de internet, haciendo uso de un módulo GPRS incorporado en su hardware, se utilizó una Sim Card de la empresa, la cual posee un plan de datos suficiente para el envío de la información de forma diaria a lo largo de un mes.

Dentro de los elementos que componen el Meshlium encontramos:

- Concentrador Meshlium
- Adaptador de Alimentación
- Adaptador POE / LAN
- 2 Antenas 5dBi – 2,4GHz (WiFi - ZigBee)

- 1 Antena 3dBi – 900MHz (GPRS)
- Cable Ethernet Cruzado (Para primera configuración)
- Cable Ethernet Directo (Para alimentación POE)

Figura 17. Componentes de Hardware Meshlium

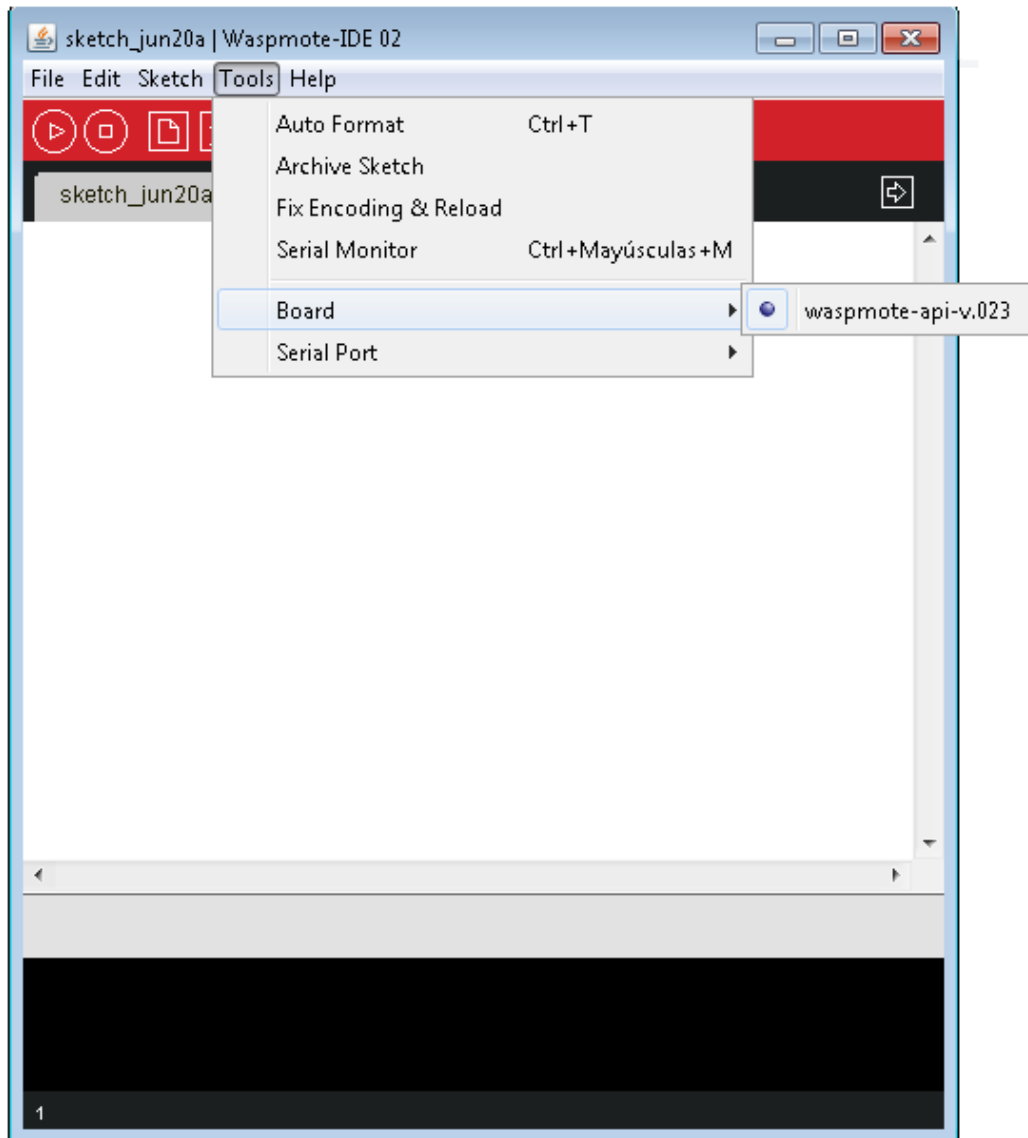


Fuente: El Autor.

4.2 CONFIGURACIÓN DE WASPMOTE

La interfaz gráfica del Wasmote IDE es muy sencilla de utilizar, no satura de botones la parte gráfica donde solo hace uso de lo necesario: Compilar, detener, Nuevo, Abrir, Guardar, Cargar al micro y la visualización de lo que ocurre en el serial monitor. Para iniciar a programar es necesario elegir que dispositivo se va a manipular, paso ilustrado a continuación.

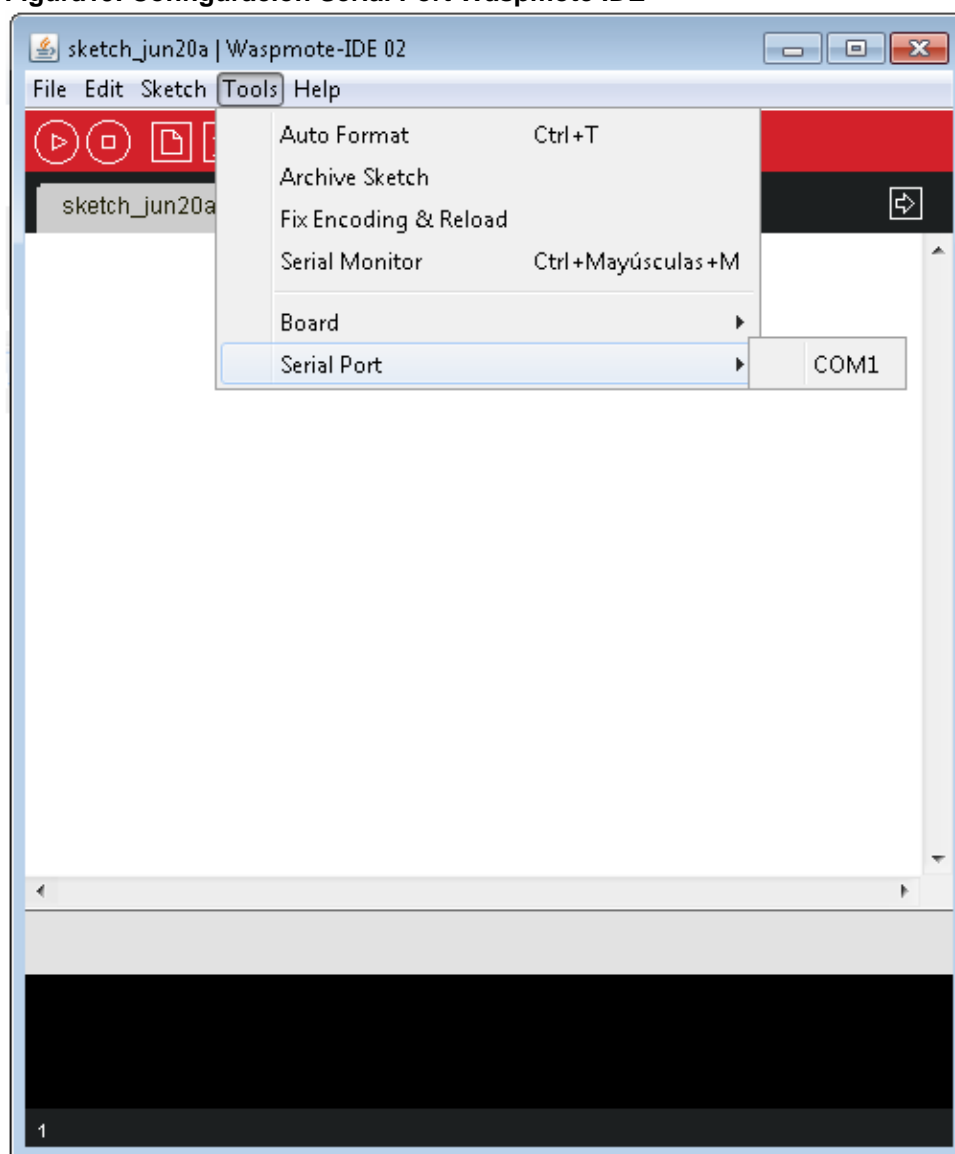
Figura 18. Configuración Board Wasmote IDE



Fuente: Libelium, Wasmote IDE V 0.2

Luego de realizar la selección de la placa Wasmote, en el mismo menú 'tools' se realiza la selección del puerto serial (COM) a utilizar. (Ver figura18). Una vez hecho esto ya se puede empezar la realización del código.

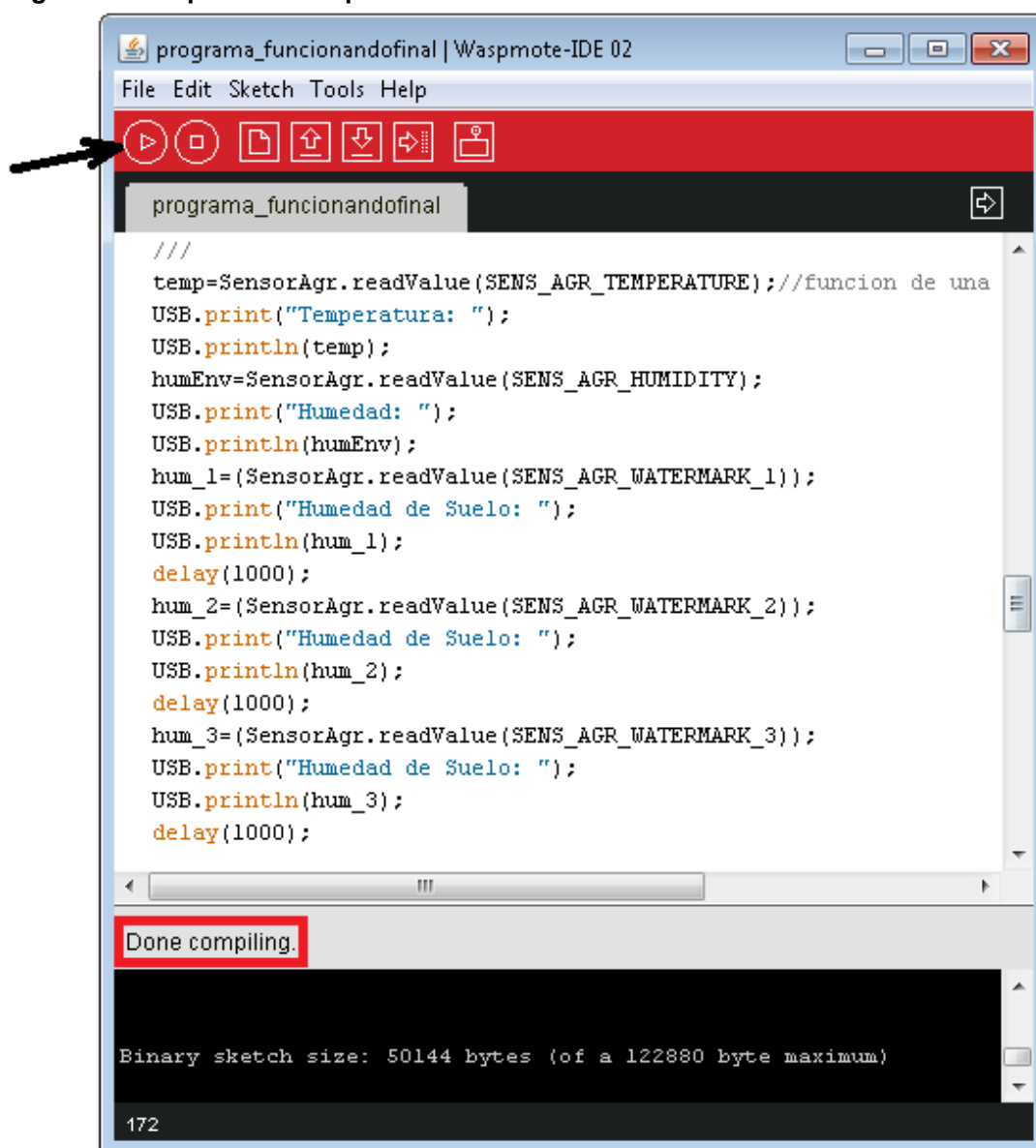
Figura19. Configuración Serial Port Waspote IDE



Fuente: Libelium, Waspote IDE V 0.2

El código desarrollado declara e inicializa las variables a usar, de igual manera se inicializa la placa de agricultura, el módulo ZigBee y habilita los modos de lectura de cada sensor, se leen los datos tomados por los sensores, luego se ensambla la trama para su correspondiente envío. Se agregó al programa un segmento de código donde se permite al Waspote ingresar al modo *'hibernate'* para que tome muestra cada 20 minutos, elevando la vida útil de la batería.

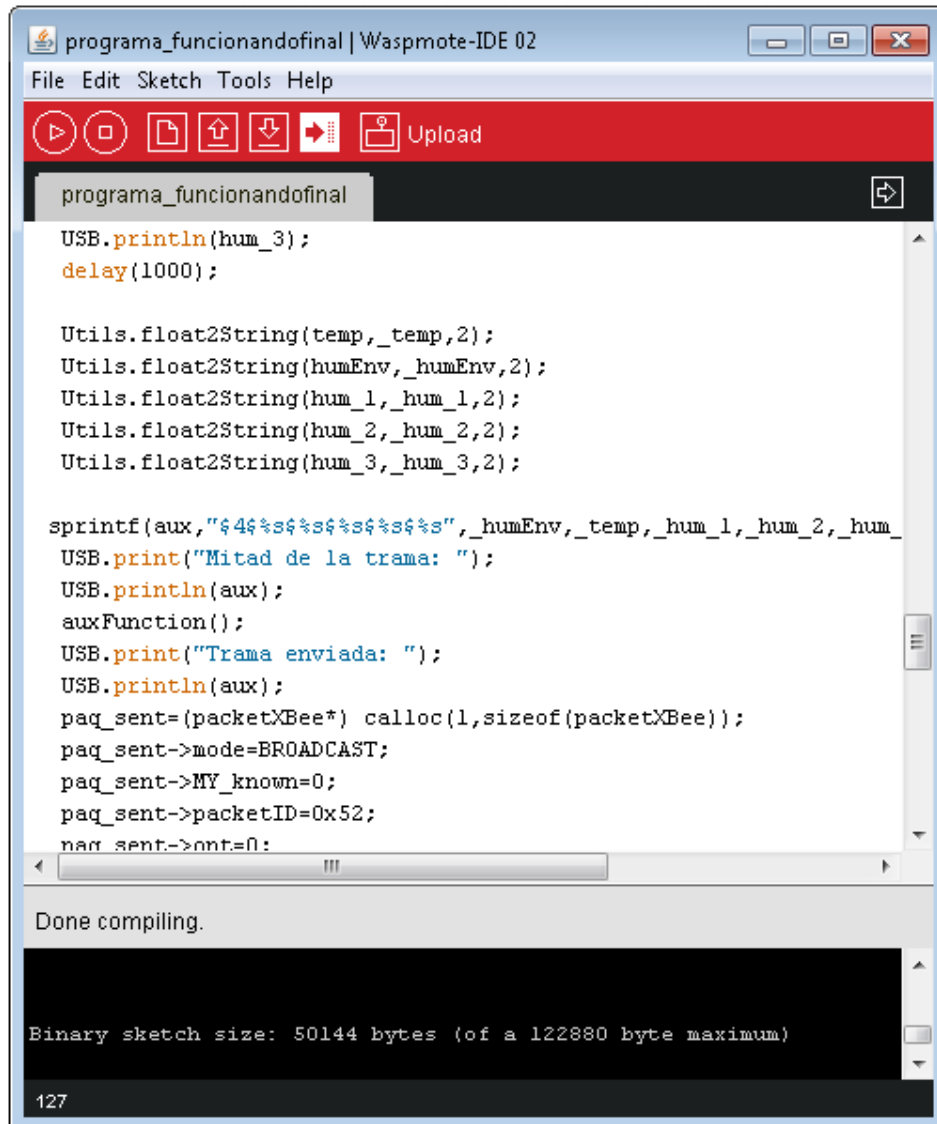
Figura20. Compilación Waspnote IDE



Fuente: Libelium, Waspnote IDE V 0.2

Se realiza la compilación del código, corroborando que la sintaxis del código sea correcta, evitando cargar programas con errores al Microcontrolador del Waspnote. (Ver figura 20).

Figura21. Carga del Programa a Wasmote



```
programa_funcionandofinal | Wasmote-IDE 02
File Edit Sketch Tools Help
[Run] [Stop] [Save] [Upload]
programa_funcionandofinal
USB.println(hum_3);
delay(1000);

Utils.float2String(temp, _temp, 2);
Utils.float2String(humEnv, _humEnv, 2);
Utils.float2String(hum_1, _hum_1, 2);
Utils.float2String(hum_2, _hum_2, 2);
Utils.float2String(hum_3, _hum_3, 2);

sprintf(aux, "%4f%s%s%s%s%s", _humEnv, _temp, _hum_1, _hum_2, _hum_
USB.print("Mitad de la trama: ");
USB.println(aux);
auxFunction();
USB.print("Trama enviada: ");
USB.println(aux);
paq_sent=(packetXBee*) calloc(1,sizeof(packetXBee));
paq_sent->mode=BROADCAST;
paq_sent->MY_known=0;
paq_sent->packetID=0x52;
paq_sent->nnt=0;
```

Done compiling.

Binary sketch size: 50144 bytes (of a 122880 byte maximum)

127

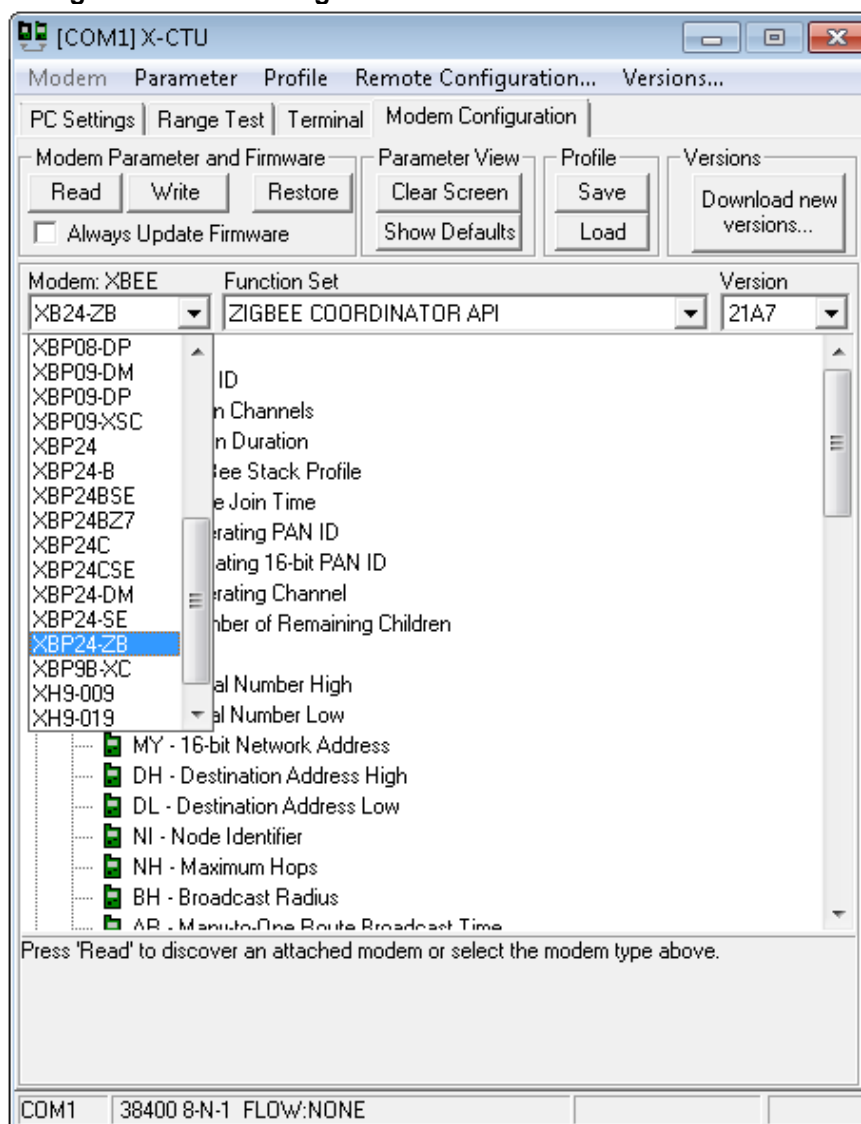
Fuente: Libelium, Wasmote IDE V 0.2

Para la carga del programa al Wasmote es necesario remover la placa de agricultura y el módulo ZigBee, verificar que el jumper de programación se encuentre insertado permitiendo escribir información en el Microcontrolador; además para lograr que el Wasmote entre al modo 'hibernate' es necesario remover otro jumper que fue creado con el fin de permitir el ingreso a este modo.

4.3 CONFIGURACIÓN MÓDULO ZIGBEE

Los Módulos ZigBee se pueden configurar según su aplicación como: coordinador, router y dispositivo final, donde la configuración elegida según el requerimiento del proyecto es la de router; el XBee del Gateway se configuró como coordinador para lograr ver los datos enviados por los Wasmote. La configuración se realiza mediante el programa X-CTU, programa recomendado por Libelium el cual permite cambiar los parámetros de cada módulo, esta configuración se realiza mediante el Gateway.

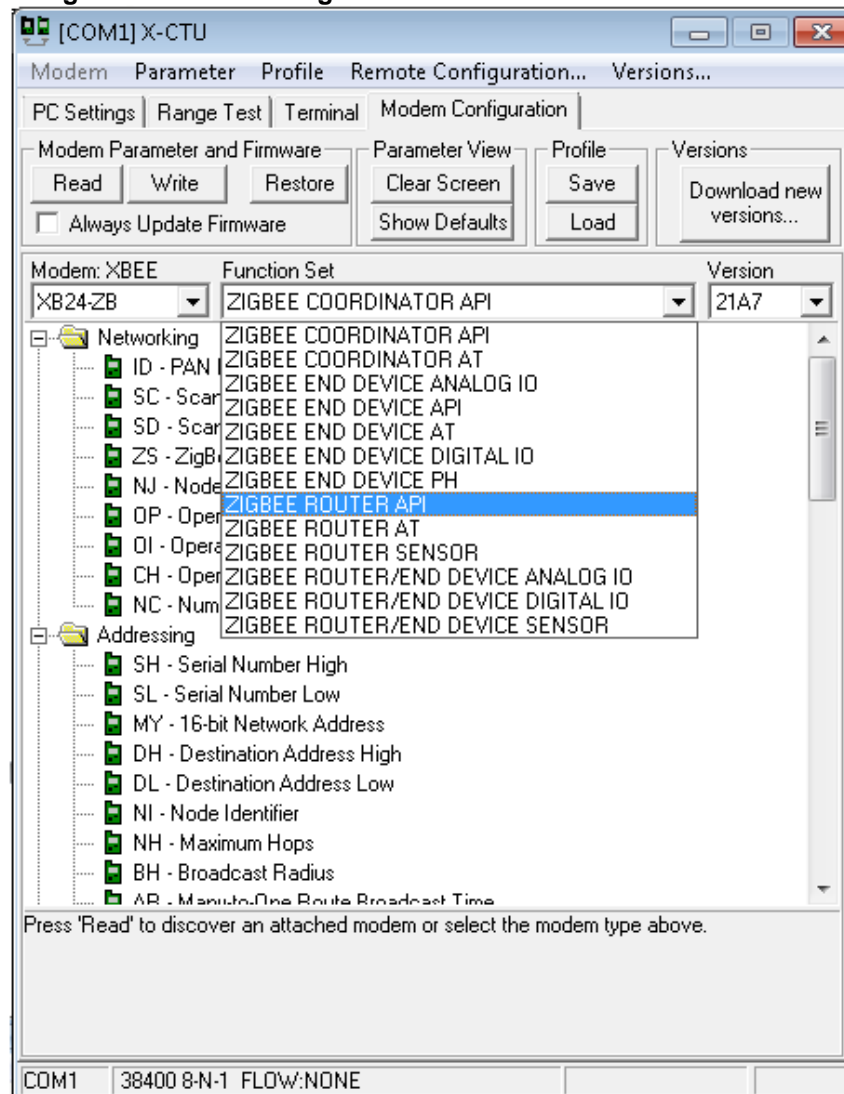
Figura22. Configuración Modelo ZigBee



Fuente: Digi, X-CTU

Para iniciar la configuración de los módulos ZigBee se realiza la elección del tipo del módulo, como se ilustra (Ver figura23), existen dentro de los dispositivos de Digi.com gran variedad de modelos, donde el obtenido para el proyecto es el Módulo ZigBee XBP24-ZB. También es necesario realizar la elección de la funcionalidad final del dispositivo: Coordinador, Router ó Dispositivo Final. Para los módulos que se integrarán en las placas, la configuración elegida fue la de Router API. (Ver figura22).

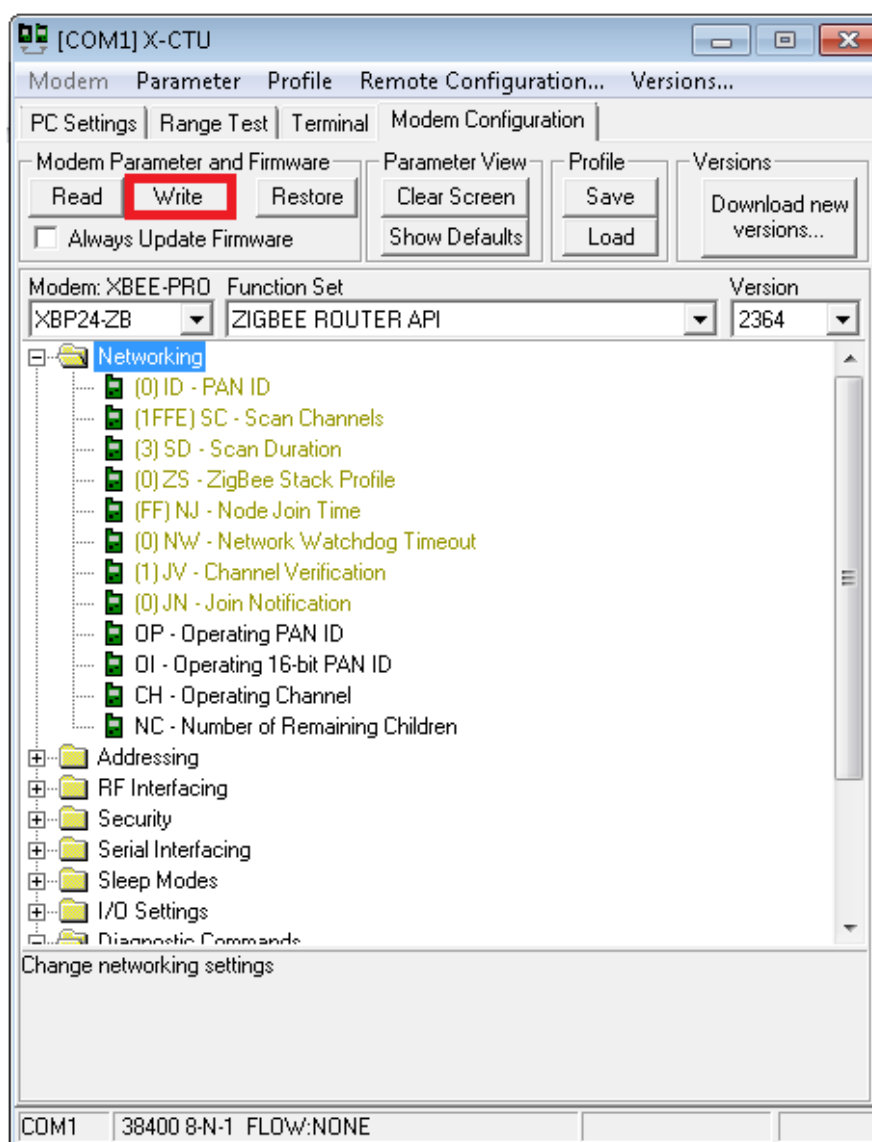
Figura23. Configuración Función ZigBee



Fuente: Digi, X-CTU

Se realiza la configuración de cada parámetro según el requerimiento del proyecto, obteniendo un perfil que se puede guardar para la configuración del número restante de módulos.

Figura24. Configuración Final ZigBee



Fuente: Digi, X-CTU

Para la carga de los parámetros en los módulos ZigBee se presiona el botón de 'Write', teniendo cuidado del puerto serial al cual está conectado el Gateway evitando problemas futuros. Para la configuración de los demás módulos se da click en 'Load' cargando el programa guardado previamente, para luego escribirlos en el módulo a configurar.

4.4 CONFIGURACIÓN MESHLIUM

4.4.1 Manager System

El Meshlium viene con una aplicación web basada en php (Hypertext Preprocessor – que es un lenguaje de código abierto especialmente adecuado para desarrollo web), lenguaje de programación web libre (Manager System), desde allí se puede realizar la configuración de algunos parámetros para el reconocimiento de tanto los Módulos ZigBee como de la conexión a internet mediante GPRS.

Al interior del Meshlium existen tres programas principales: Manager System (php), ZigbeeStore.h y ZigbeeStore.c; donde el primero es el asistente de configuración, el segundo es una librería utilizada para declarar el modelo de datos que tomará la base de datos y ZigbeeStore.c que permite la inserción de las tramas en la base de datos; a continuación se genera el Query (Sentencia de inserción de datos) para su inserción final en la base de datos externa (MySQL). El modelo de datos para la lectura de la información tiene una estructura como la ilustrada (Ver tabla3).

Tabla 3. Modelo de Datos

Identification Number	Date	MAC	Variables	Battery Level
-----------------------	------	-----	-----------	---------------

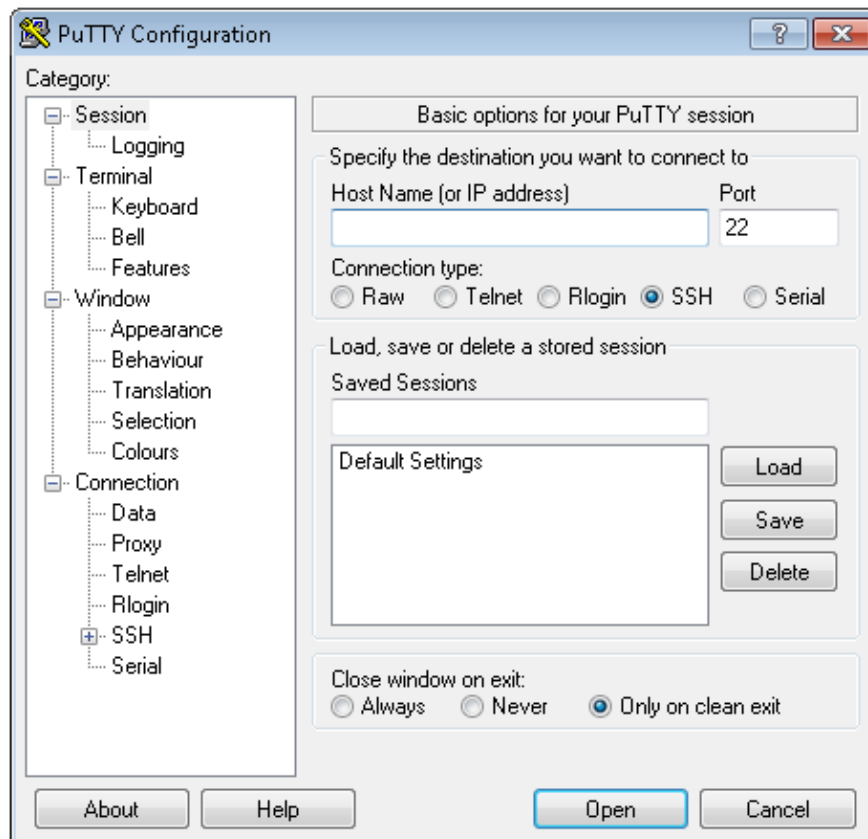
Fuente: El Autor

4.4.2 PuTTY (Cliente SSH)

Dentro del Meshlium hay un archivo alojado en la dirección `'/mnt/user/ManagerSystem/plugins/b_SensorData/b0_Capturer/server.php'` el cual se necesitó modificar para que se acomodara al modelo de datos utilizado, además se cambió el separador que venía por defecto para lograr una mejor identificación de los datos.

Para lograr modificar ese archivo fue necesario ingresar al sistema por SSH (*Secure Shell - protocolo que facilita las comunicaciones seguras entre dos sistemas*) haciendo uso del terminal `'PuTTY'` recomendado por Libelium.

Figura25. PuTTY



Fuente: El Autor

Se realizaron los cambios necesarios en los programas restantes en el Meshlium, ZigbeeStore.h y ZigbeeStore.c, labor soportada por el ingeniero de sistemas del proyecto, Jeison Hernandez - UNAL.

Básicamente en el primer programa se añaden las variables a usar a la librería de Meshlium, para que este pudiera reconocer las variables al ser enviadas por el Waspote. En el segundo programa el código es un poco más extenso, donde se remueve el separador además del reconocimiento de la trama y desglose de cada una de los datos, guardándolas en variables dentro de un archivo de Meshlium, se realiza el Query para poder insertar los datos en la base de datos externa.

4.5 BASE DE DATOS

Para el desarrollo del proyecto se hizo uso de la base de datos MySQL Server 5.10 y de la base de datos Microsoft SQL Server 2008®, el fabricante dota al concentrador con la capacidad de reportar información a un motor de base de datos en MySQL, teniendo que realizar algunos cambios en los archivos que permiten la inserción de los datos, manteniendo una compatibilidad total con el modelo de datos establecido.

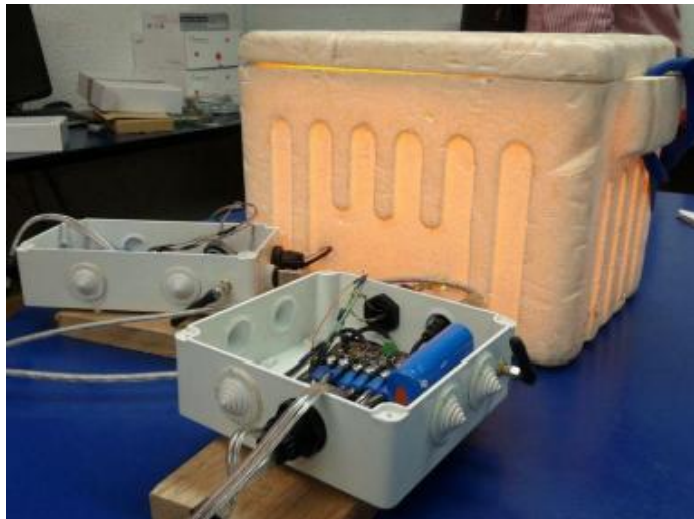
El modelo de datos donde se realiza el almacenamiento de la información cuenta con dos entidades, donde en una se encuentra el tipo de variable (rango de valores y nombres) y la segunda donde se encuentran las medidas tomadas por los sensores como tal, esto con el fin de evitar la inserción de datos considerados como basura. Debido a la razón social de la empresa, es necesario trabajar con tecnologías de Microsoft, implementando el modelo de datos establecido para la base de datos

Microsoft SQL Server 2008 ®, con el objetivo principal de realizar una fácil conexión con la base de datos desde ASP.NET. El modelo de datos se mantuvo igual para ambas aplicaciones.

4.6 CALIBRACIÓN Y PRUEBAS

Para realizar la Calibración de los sensores de temperatura y humedad se realizaron una serie de pruebas, donde se logró obtener una gráfica ilustrando el comportamiento de los mismos, tiempos de respuesta y rangos de medida. Para tener un elemento de comparación, se realizó la compra de un higrómetro certificado por la ONAC (*Organismo Nacional de Acreditación de Colombia*), la prueba consistió en colocar dentro de una caja de poliestireno 3 sensores, uno de temperatura (dentro de la caja), uno de Humedad Ambiente (dentro de la caja) y la sonda que contiene ambos sensores (Humedad y Temperatura) que venía con el Higrómetro (Ver figura26).

Figura26. Prueba sensores Temperatura y Humedad



Fuente: El Autor

Las gráficas de las pruebas se pueden observar anexos al documento (Anexos B y C).

Dentro de las pruebas realizadas a los sensores de humedad del suelo se tuvo como objetivo revisar el comportamiento de los sensores, al enterrar dos (2) de estos en materas con diferente humedad (Ver Figura27) donde una se saturó de agua (blanca), otra con algo de humedad (verde) y otra seca (roja), logrando sacar con mayor eficiencia una curva de comportamiento de los sensores, también se realizó la prueba con tierra totalmente seca (tratada en laboratorio).

Para esta prueba se realizaron gráficas del comportamiento de los sensores (Ver **Anexo D**).

Además se logró entender las unidades en que estos sensores realizaban las medidas, ya que en la documentación proporcionada por el fabricante este dato no era muy claro; la placa realiza las mediciones en resistencia, transmitiendo las mediciones a la base de datos en frecuencia

Figura27. Prueba sensores humedad de suelo



Fuente: El Autor

4.7 FUNDAMENTACIÓN HUMANISTA

Desde el principio de los tiempos el objetivo del ser humano ha sido claro, abastecer sus necesidades básicas y día a día ir mejorando su nivel de vida, consiguiendo de esta manera grandes adelantos e incursiones en diferentes áreas de conocimiento, es por esta razón que el principal objetivo de un profesional de la Universidad Santo Tomas es brindar soluciones a cada una de las necesidades y/o problemáticas de su entorno, basándose en cada uno de los conocimientos adquiridos durante su desarrollo profesional, es así como el desarrollo de un sistema de agricultura de precisión para la población de Sutamarchán se convierte en una ejemplificación de esta tesis, ya que al hacer uso de cada uno de los conocimientos adquiridos durante la etapa de formación universitaria en pro de dar solución a los diferentes inconvenientes que pueden afectar a un cultivo se presenta claramente la posibilidad de beneficiar no solo al agricultor sino al cliente final.

En este punto es indispensable recalcar la labor de la ingeniería electrónica no solo en el campo de la automatización, sino también en el campo de las telecomunicaciones ya que gracias a esta área de conocimiento ha sido posible realizar enlaces de comunicación entre distancias increíbles, además de almacenamiento de cantidades enormes de información, avances que han permitido la creación de diferentes aplicaciones de carácter general para diferentes disciplinas.

Partiendo de estos importantes avances tecnológicos se desarrolla una solución a los diferentes inconvenientes presentados en el campo agrícola, haciendo uso de los diferentes recursos presentados por la ingeniería, tales como dispositivos de telecomunicaciones, sensores, software, entre otros, llamada agricultura de precisión, por medio de la cual el profesional en ingeniería electrónica puede prestar servicios de

monitoreo y procesos de optimización de recursos del cultivo obteniendo mejoras considerables en la calidad del producto final, ya que este modelo se basa en la información recolectada por dispositivos electrónicos además de ser necesario tener un historial detallado de la variabilidad del cultivo.

En Colombia, aunque existen muy pocas las entidades que hacen uso del modelo de Agricultura de Precisión para el cuidado de los cultivos, se han obtenido muy buenos resultados en este campo lo que permite que el sector agrícola crezca en forma considerable creando beneficios no solo para el productor si no también para el usuario final, de esta manera es posible determinar que la agricultura de precisión trae beneficios a las grandes empresas y a los pequeños agricultores que dependen económicamente de esta actividad, adicional beneficios al consumidor, ya que al lograr obtener cosechas más generosas y en menor tiempo se logra una disminución en el precio de comercialización del producto y como valor agregado el consumo de un producto de calidad, logrando cumplir con la demanda de calidad y cantidad impuesta por el mercado.

De esta manera es posible resaltar la labor del profesional en ingeniería electrónica en este proyecto, ya que además de desarrollar una solución óptima para los diferentes inconvenientes que se pueden presentar en un cultivo, también logra por medio de su labor satisfacer las necesidades de la comunidad en general, presentando una nueva alternativa económica y eficaz para mejorar la calidad de los productos de consumo diario en un hogar.

CAPITULO V

**5. VALOR AGREGADO Y
PROYECTOS A FUTURO**

5.1 APLICACIÓN WEB

El siguiente paso de Exsis Software y Soluciones para el proyecto de Agricultura de Precisión es la creación de una aplicación WEB donde se generarán reportes, alertas y recomendaciones, además de las gráficas correspondientes de cada uno de los sensores y sus cajas, sectorizando la información dentro del cultivo, la aplicación se prestará como un servicio y será administrada por Exsis Software y Soluciones; esta fase del proyecto a la fecha se encuentra en desarrollo, labor netamente soportada por los ingenieros de Sistemas del Proyecto.

5.2 AUTOMATIZACIÓN

Para una fase 2 del proyecto se tiene el propósito de implementar un sistema de automatización del control de algunas de las variables (las más importantes): Temperatura Ambiente, Humedad Ambiente y Humedad del Suelo. Con esto se lograrían cosechas de mayor calidad en menor tiempo, para el control de temperatura se hace uso de cortinas, las cuales se moverían con motores paso a paso manteniendo la temperatura óptima, se ha empezado a diseñar un sistema de automatización de Humedad Ambiente para cultivos que cuenten con riego por aspersión.

Otro de los propósitos del proyecto a largo plazo es el diseño de una placa similar al Waspote y una tarjeta de adquisición de datos que permita integrar otros sensores, teniendo como base los sensores usados en los cuartos fríos, estas placas se diseñarían basadas en Arduino. Para el aumento en la autonomía del sistema se tiene como idea base alimentar el concentrador con energía renovable como lo es la solar aprovechando que las condiciones climáticas son favorables para la instalación de este equipo.

CONCLUSIONES

El proyecto de Agricultura de Precisión desarrollado e implementado por Exsis Software y Soluciones fue consecuencia de la necesidad de llevar la tecnología a sectores donde más se necesita, como lo es el sector agrícola, siendo este producto dirigido principalmente a los pequeños agricultores que no posean los recursos de las grandes productoras de alimentos de siembra, además de beneficiar de forma directa al consumidor final brindándole productos de mejor calidad en menor tiempo.

- Se diseñó e implementó un sistema de adquisición de datos, aprobado por Cámara de Comercio, dentro de los proyectos de innovación apoyados por la misma entidad; el sistema al momento de ser implementado evidenció una mejor lectura del comportamiento del cultivo, y del clima en la zona de la finca, aumentando para el final de cosecha un aproximado del 5% de los productos recolectados en buen estado para su comercialización, además de mejorar las competencias de los encargados de la finca teniendo en cuenta que debieron ser capacitados para el manejo de los sensores, concentrador y del software que Exsis Software & Soluciones desarrolló para la administración de la finca.
- La comunicación mediante protocolo ZigBee presenta grandes ventajas al permitir la conexión entre dos dispositivos con un gasto de energía aproximado de $0.7\mu\text{A}$ en modo hibernate, siendo su consumo habitual de 3mA en estado de reposo, aumentando la vida útil de la batería en aproximadamente dos semanas, manteniendo un sistema autónomo por más tiempo, disminuyendo costos ya que para realizar el cambio de batería es necesario desplazarse hasta la finca con todo lo que conlleva un viaje de Bogotá a Sutamarchán, contribuyendo a la optimización de recursos de carácter energético y económico, adicional permite mantener un enlace de comunicación estable y a distancias apropiadas para la instalación en cultivos de grandes dimensiones (100m^2), comprobando así que el uso de este protocolo es la mejor alternativa para la implementación de este modelo de agricultura.
- El sector agrícola evidencia muchos retos, por esta razón la tecnología desarrollada para este sector debe ser robusta y de bajo costo, permitiendo que sea asequible para cualquier agricultor; aunque se pueden encontrar numerosas referencias teóricas de la aplicación de las tecnologías de las telecomunicaciones en la agricultura, en el campo práctico la implementación es muy poca para pequeños agricultores, ciertamente por los costos que este tipo de métodos puede alcanzar, sin embargo gracias a los nuevos avances en la tecnología y los nuevos desarrollos de software alcanzados en los últimos tiempos se ha logrado que los pequeños agricultores puedan tener este tipo de tecnología en sus cultivos.
- Los conocimientos básicos en programación obtenidos durante el proceso de pregrado fueron fundamentales a la hora de desarrollar el código utilizado dentro del proyecto, ya que permitió el desarrollo en menor tiempo del mismo, además la colaboración de los ingenieros de sistemas fue muy importante.

- La implementación del proyecto de Agricultura de Precisión y el éxito obtenido, evidenciado en los resultados, da a entender que el siguiente paso para la optimización de recursos y modernización del sector agrícola está en la tecnología, logrando una relación entre la ingeniería y la agricultura, donde ambas se verán beneficiadas.
- La Agricultura de Precisión se caracteriza por realizar un monitoreo constante de los cultivos, por este motivo se hace necesario llevar un historial de la información obtenida por los sensores, para mayor facilidad se realizó dentro de la aplicación web unas gráficas donde se evidenciaba el estado del cultivo, separados por cajas, permitiendo mantener las plantas en una temperatura ideal para su crecimiento.

ACLARACIÓN

Por motivos sujetos al régimen de protección de propiedad intelectual, no es posible revelar en este documento el código utilizado durante el desarrollo del proyecto.

BIBLIOGRAFIA

BURGOS, E., FERRI, S., & MALACRIDA, J. (s.f.). *www.Monografias.com*. Obtenido de Aporte de la Ingeniería en Agrimensura a la Agricultura de Presición: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/aporte-ingenieria-agrimensura-agricultura-precision/aporte-ingenieria-agrimensura-agricultura-precision.pdf>, pág31

ENCISO, J., PORTER, D., & PÈRIÉS, X. (Agosto de 2007). *Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego*. Obtenido de txspace.di.tamu.edu: http://txspace.di.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87470/pdf_2437.pdf?sequence=1, pág32

GISLASON. (2008). Zigbee Wireless Networking. United States .pág 33,34

ICONTEC. (Julio de 2005). *ICONTEC*. Obtenido de, <http://es.scribd.com/doc/50564064/NTC5400>

Irrrometer. (2008). Watermark Soil Moisture Sensor — Model 200SS. Riverside, California, United States.pág 38, 39

MALAVAR, F., & VARGAS, M. (2012). Innovación, Medición y Política: Una aproximación desde la realidad Colombiana. *Seminario Internacional Innovación Agropecuaria*. Bogotá.

VALVERDE Jorge C., 'El Estándar Inalámbrico ZigBee', Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 2007: <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>

www.agriculturadeprecision.org. (2012). Obtenido de Agricultura de Precisión: www.agriculturadeprecision.org

© Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (Agosto de 2010). *www.Libelium.com*. Obtenido de Certificaciones Waspote: http://www.Libelium.com/documentation/Waspote/Waspote-certifications_esp.pdf

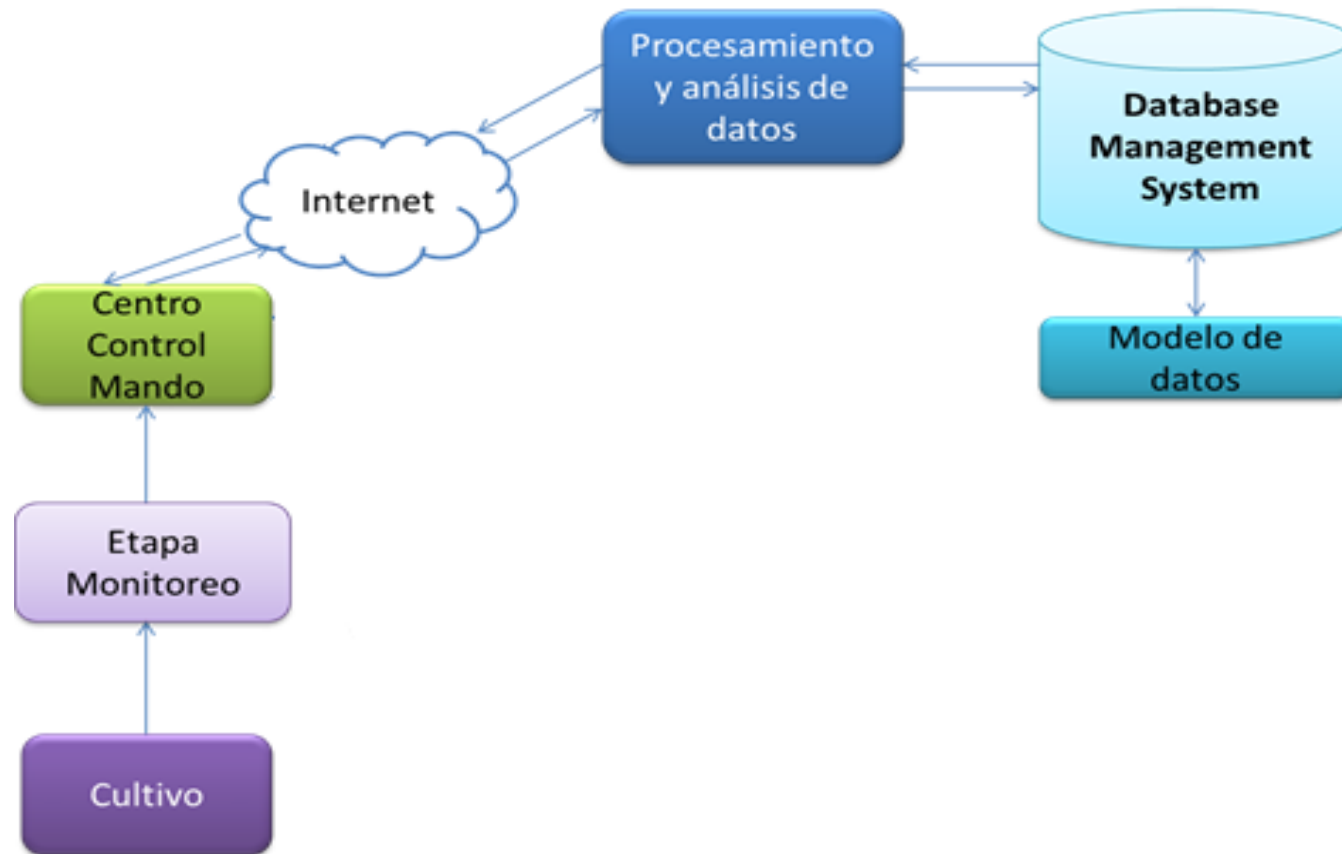
© Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (Mayo de 2012). *www.Libelium.com*. Obtenido de Waspote: Guía Técnica: http://www.Libelium.com/documentation/Waspote/Waspote-technical_guide_esp.pdf

© Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (Abril de 2012). *www.Libelium.com*. Obtenido de Agricultura 1.0, http://www.Libelium.com/documentation/Waspote/agriculture-sensor-board_esp.pdf

© Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (Mayo de 2012), www.Libelium.com.
Obtenido de Meshlium Xtreme: Guía Técnica:
http://www.Libelium.com/documentation/mesh_extreme/Meshlium-technical_guide_esp.pdf

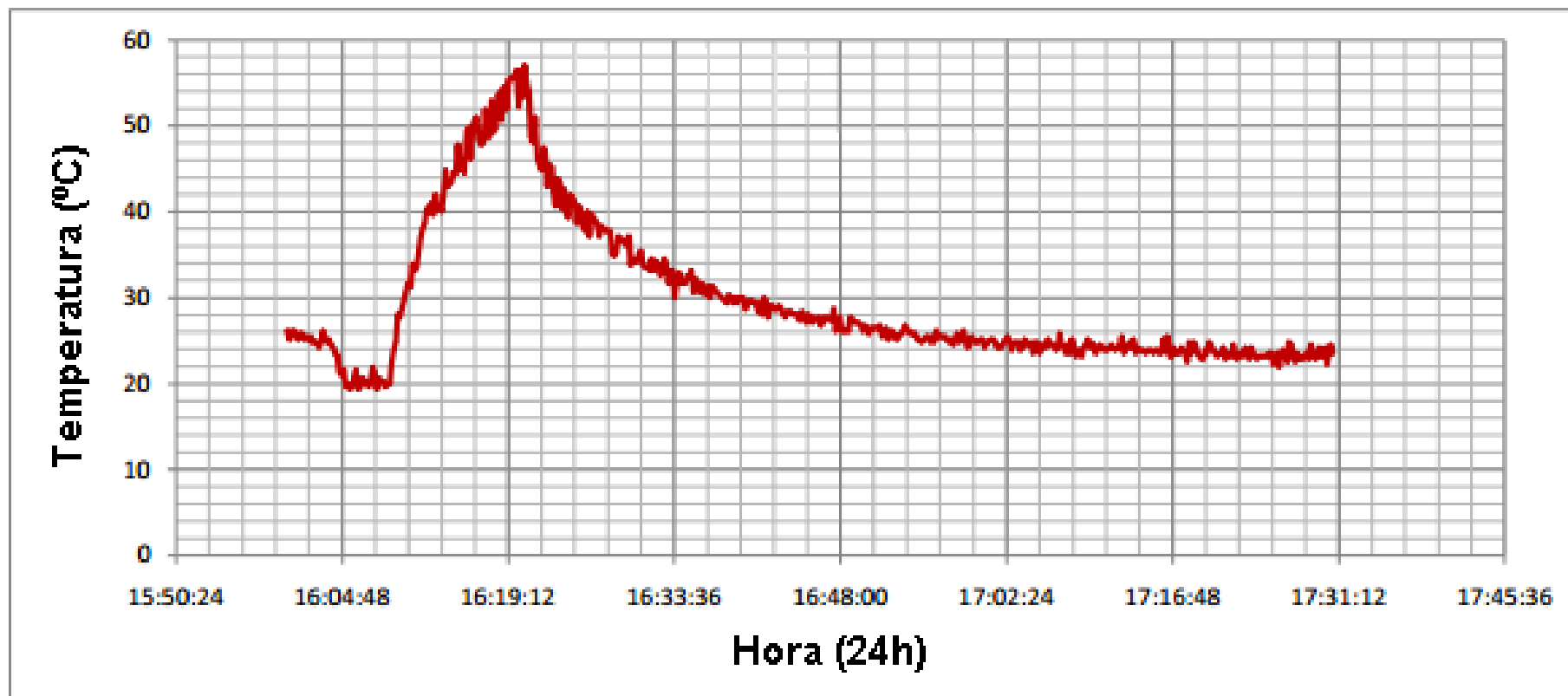
ANEXOS

ANEXO A. Esquema General Proyecto Agricultura de Precisión



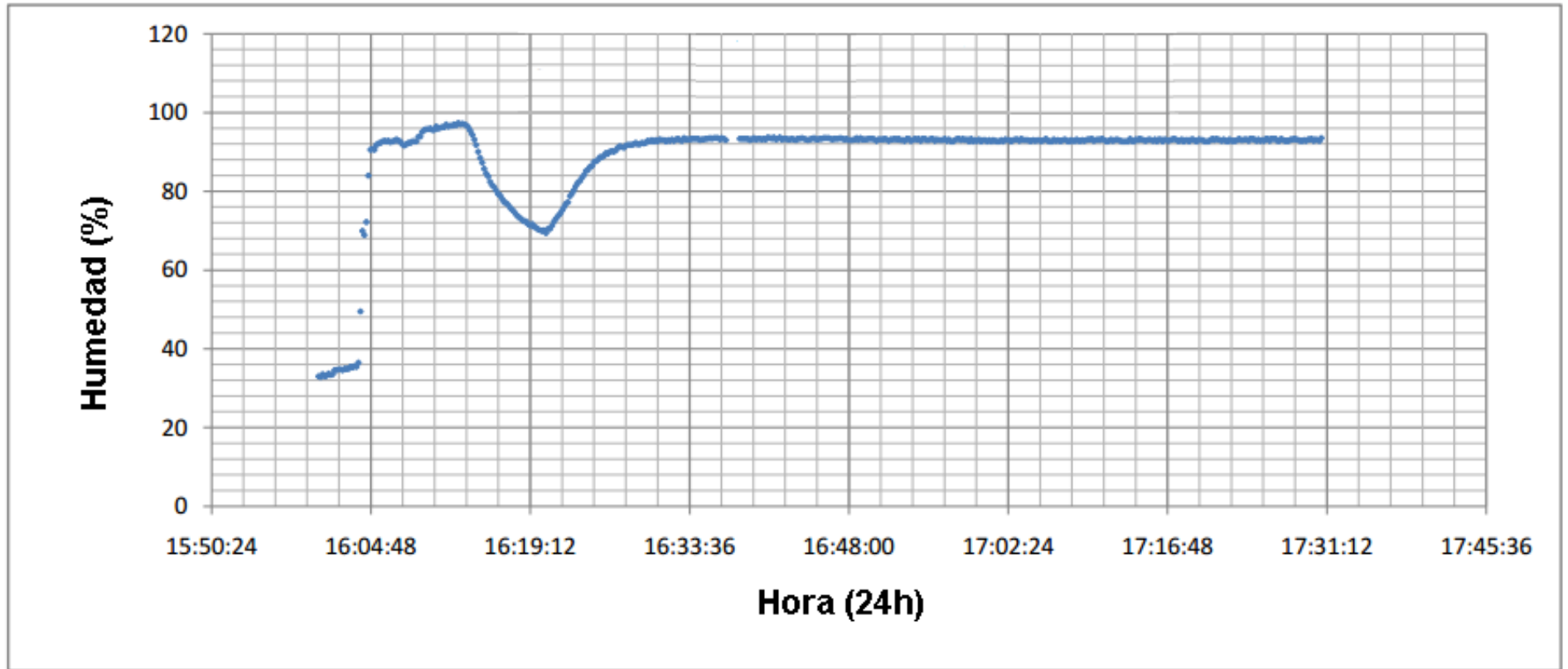
Fuente: El Autor

ANEXO B. Prueba Sensor Temperatura Ambiente



Fuente: El Autor

ANEXO C. Prueba Sensor Humedad Ambiente



Fuente: El Autor

ANEXO D. Prueba Sensor Humedad de Suelo

HUMEDAD DE SUELO



Fuente: El Autor