



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

“Sistema de Monitoreo de Parámetros Agrícolas para la Supervisión de Cultivos de Manera Remota basado en Redes de Sensores Inalámbricos.”

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

JOSÉ FRANCISCO GUILLÉN GUILLÉN
JOSÉ DANIEL MOGROVEJO LOYOLA

Director:

ING. HUGO TORRES SALAMEA Ph.D.

CUENCA, ECUADOR.

2019

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi madre por su lucha constante para mi crecimiento como persona, para evitar rendirme en momentos delicados y su valor para creer en mi durante esta carrera; además dedico este trabajo a mis hermanas; por el cariño, paciencia y sobre todo el apoyo en las situaciones complicadas, proyectos, cursos y en general en el transcurso de la carrera y de este trabajo final.

José Daniel Mogrovejo Loyola

DEDICATORIA

Este trabajo de grado va dedicado a mi familia, especialmente a mis padres José Guillén y Patricia Guillén, por todo el apoyo brindado hacia mi persona en toda la experiencia que fue la universidad, siempre fueron un soporte para mi tanto en los momentos buenos como malos. A mi novia Daniela Mendoza quien es una persona muy importante para mí y siempre me ha apoyado en todo, espero con este logro poder una inspiración para ella. Finalmente, a mis compañeros de carrera con quien he pasado grandiosos momentos los que siempre estarán en mi memoria.

Francisco Guillén Guillén

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar un agradecimiento especial al Ing. Hugo Torres, por el apoyo y enseñanza formativa y humana durante la carrera; pero con mayor énfasis en la idea y construcción de este proyecto final, sin la paciencia y apoyo fundamental este proyecto hubiese sido imposible.

Quiero dar un agradecimiento encarecido a todos mis familiares, por el apoyo y ayuda durante mi carrera; gracias a ustedes por el interés y cariño desinteresado mostrado hacia mi persona, esto me ha permitido crecer como persona y profesional.

Muchas Gracias.

José Daniel Mogrovejo Loyola

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a nuestro director de tesis Ing. Hugo Torres por todo el apoyo y paciencia brindada, gracias a su guía nos ayudó a dar forma a la idea presentada en este trabajo de grado, el que resulto en un proyecto interesante e innovador y durante el desarrollo del cual aprendí mucho.

Agradezco a mis padres y hermanos por todo el apoyo brindado durante el transcurso de la carrera, en especial a mi padre quien ha sido una fuerte inspiración para mí y siempre ha sido un apoyo fundamental.

Especialmente agradezco a mi novia Daniela quien me ha apoyado en todo momento en la culminación de este trabajo, gracias por todo la comprensión, paciencia e interés mostrado hacia a mí y a este trabajo.

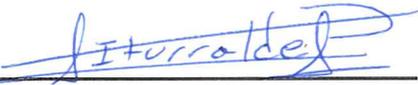
Finalmente quiero agradecer a mis compañeros de carrera con quienes he vivido grandes momentos, en especial a Daniel, mi compañero de tesis, quien ha trabajado conmigo de manera incondicional para cumplir todos los objetivos planteados en el desarrollo de este proyecto.

Francisco Guillén Guillén.

Sistema de Monitoreo de Parámetros Agrícolas para la Supervisión de Cultivos de Manera Remota basado en Redes de Sensores Inalámbricos.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación consiste en el desarrollo e implementación de un prototipo electrónico para el monitoreo de los siguientes parámetros ambientales: altitud, presión, temperatura ambiente, temperatura del suelo, luminosidad, humedad ambiente, humedad del suelo y humedad de las hojas, mismos que serán almacenados en una base de datos y podrán ser visualizados en una página web. Para el desarrollo se tomará en cuenta conceptos de Internet de las cosas (IoT) y Redes Inalámbricas de Sensores (WSN). Así también se realizarán pruebas de funcionamiento del sistema desarrollado comparándolo con un equipo especializado con el fin de determinar los errores que presenta. El prototipo desarrollado puede ser utilizado en aplicaciones agrícolas.



Ing. Daniel Iturralde Piedra Ph.D.
Coordinador de Carrera.



Ing. Hugo Torres Salamea Ph.D.
Director del Trabajo de Titulación.



Sr. Francisco Guillén Guillén.
Autor.

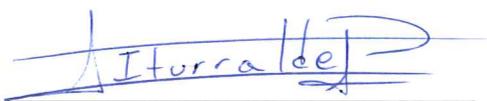


Sr. Daniel Mogrovejo Loyola
Autor.

Remote Monitoring System of Agricultural Parameters for Crop Supervision based on Wireless Sensor Networks.

ABSTRACT

This research consisted in the development and implementation of an electronic prototype to monitor the following environmental parameters: altitude, pressure, environment temperature, soil temperature, luminosity, humidity, soil moisture and leaf moisture. This information was stored in a database and can be viewed on a web page. Concepts of Internet of Things (IoT) and Wireless Sensor Networks (WSN) were taken into account for the development of this prototype. Functional tests of the system were performed, and the obtained results were compared with the results of a specialized system to determine errors. The developed prototype could be used in agricultural applications.



Ing. Daniel Iturralde Piedra Ph.D.

Faculty Coordinator



Ing. Hugo Torres Salamea Ph.D.

Thesis Director



Francisco Guillén Guillén.

Author



Daniel Mogrovejo Loyola

Author



Translated by
Ing. Paul Arpi

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Problemática.....	2
1.2.1 Factores Ambientales	2
1.3 Motivación.....	4
1.4 Solución Planteada	5
1.5 Estado del Arte	6
1.6 Conclusiones	8
2 CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS DE UNA RED DE SENSORES.....	10
2.1 Introducción.....	10
2.2 Red inalámbrica de sensores	10
2.2.1 Introducción	10
2.2.2 Topología de una red de sensores.	11
2.2.3 Protocolos inalámbricos.	12
2.3 Elementos que componen una red inalámbrica de sensores.....	13
2.3.1 Sensores	13
2.3.2 Elementos de comunicación.....	16
2.3.3 Sistemas de Alimentación	18
2.4 Servidor IoT	19
2.4.1 Base de Datos	19
2.4.2 SQL	19
2.4.3 MYSQL.....	20
2.4.4 MARIADB.....	20
2.5 CONCLUSIONES.....	21

3	CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLMETACION DE HARDWARE	22
3.1	Introducción.....	22
3.2	Elementos que componen los nodos	22
3.2.1	Sensores	22
3.2.2	Microcontroladores	26
3.2.3	Sistemas electrónicos para la fuente de alimentación	28
3.3	Diseño Global.....	30
3.4	Diseño de circuitos electrónicos para lectura de sensores.....	31
3.4.1	Primer diseño electrónico.....	31
3.4.2	Diseño de la Fuente.....	37
3.5	Conclusiones	39
4	CAPÍTULO IV: DISEÑO E IMPLMETACION DE SOFTWARE.....	40
4.1	Funcionamiento del sistema	40
4.2	Código del Microcontrolador	41
4.3	Código de la Raspberry	43
4.4	Implementación de la página Web	46
4.5	Codificación de la página Web.....	48
4.5.1	Skeleton.....	48
4.5.2	CanvasJS	49
4.5.3	JustGage y Ajax	49
4.5.4	Hostinger.....	50
4.6	Conclusiones	50
5	CAPITULO V: IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS FINALES.....	52
5.1	Introducción.....	52
5.2	Estructura del nodo.....	52
5.2.1	Diseño gráfico del nodo	52
5.2.2	Planos del nodo.	53
5.2.3	Construcción e implementación final	54
5.2.4	Sistemas de medición utilizados.	56
5.3	Pruebas realizadas	58
5.3.1	Pruebas y comparaciones entre equipos y sensores	58
5.3.2	Pruebas De Distancia	109
5.4	Costos	110
5.5	Conclusiones y Recomendaciones	113
5.5.1	Conclusiones	113

5.5.2	Recomendaciones.....	118
6	Bibliografía	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Red Inalámbrica de sensores; Solución planteada.....	6
Figura 1.2: Red Inalámbrica de sensores; Solución planteada.....	6
Figura 2.1: Sensor de Humedad del Suelo	13
Figura 2.2: Sensor de Temperatura del suelo DS18B20	14
Figura 2.3: Sensor de Humedad de las hojas	14
Figura 2.4 Sensor BMP280	15
Figura 2.5: Sensor de luminosidad TSL2561	15
Figura 2.6: Sensor DTH22	15
Figura 2.7: Sensor SHT10.....	16
Figura 2.8: Equipos XBEE.....	17
Figura 2.9: Panel Solar	18
Figura 2.10: Baterías	19
Figura 2.11 Software MYSQL.....	20
Figura 2.12 Software MariaDB	21
Figura 3.1 Sensor BMP280.....	23
Figura 3.2 Sensor TSL2561	24
Figura 3.3 Sensor de Humedad de las Hojas.....	24
Figura 3.4 Sensor DTH22	25
Figura 3.5 Sensor STH10.....	26
Figura 3.6 Trinket 5v.....	26
Figura 3.7 ATMEGA328P	27
Figura 3.8 Raspberry Pi 3	27
Figura 3.9 Convertidor Analógico Digital	28
Figura 3.10 Panel y Baterías	29
Figura 3.11 Dispositivo XL60009.....	29
Figura 3.12 Regulador de Voltaje 3.3v	30
Figura 3.13 Diseño Global.	30
Figura 3.14: Prototipo 1	32
Figura 3.15 Prototipo 1 Placa Final	32
Figura 3.16 Prototipo 2 Microcontrolador y XBEE.....	34
Figura 3.17 Prototipo 2 Sensores	34
Figura 3.18 Prototipo 2 Placa Final	35
Figura 3.19 Diseño Final Sensores	36
Figura 3.20 Diseño Final.....	37
Figura 3.21 Prototipo 1 Fuente	38
Figura 3.22 Fuente Final	38
Figura 4.1: Trama de la Red.....	40
Figura 4.2 Librerías del código en Arduino.	41
Figura 4.3 Configuraciones Iniciales.	42
Figura 4.4 Función myWatchdogEnable.....	42
Figura 4.5 Valores de configuración del Watchdog Fuente: Datasheet ATMEGA328P	42
Figura 4.6 Funcion ReadSensors.....	43
Figura 4.7 Funcion Loop.....	43
Figura 4.8 Estructura de la Tabla de los datos del nodo.	44
Figura 4.9 Tabla de usuarios registrados.....	44

Figura 4.10 Parámetros iniciales del código en Python.	45
Figura 4.11 Almacenamiento en la base de datos.	45
Figura 4.12 Enlace de Inicio de Sesión y de Registro.....	46
Figura 4.13 Pantalla Inicial.	47
Figura 4.14 Consulta de los datos almacenados.....	47
Figura 4.15 Consulta en tiempo real	48
Figura 4.16: Menú lateral y cierre de sesión.	48
Figura 4.17 Implementación Responsive.	49
Figura 4.18 Logo CanvasJS.	49
Figura 4.19: Medidores de JustGage.....	50
Figura 5.1: Prototipo grafico del nodo	53
Figura 5.2: Plano Lateral.....	53
Figura 5.3: Plano Posterior.....	54
Figura 5.4 Equipo Final construido.....	55
Figura 5.5: Disposición de placas y elementos.	55
Figura 5.6: Paquete Smart Agriculture 3 de Libelium.	56
Figura 5.7 Luxómetro YF-172	58
Figura 5.8: Medidores de bajo coste.	58
Figura 5.9 Nodos y distribución.....	59
Figura 5.10 Gráfico del comportamiento de la Humedad Ambiental del Nodo 000.	70
Figura 5.11 Gráfico del comportamiento de la Humedad Ambiental del Nodo 001.	70
Figura 5.12 Gráfico del comportamiento de la Temperatura del Suelo del Nodo 000 comparado con Libelium.....	78
Figura 5.13 Gráfico del comportamiento de la Temperatura del Suelo del Nodo 001 comparado con Libelium.....	78
Figura 5.14 Gráfico del comportamiento de la Temperatura Ambiental del Nodo 000 comparado con Libelium.....	87
Figura 5.15 Gráfico del comportamiento de la Temperatura Ambiental del Nodo 001 comparado con Libelium.....	87
Figura 5.16: Gráfico del comportamiento de la Presión del Nodo 000 comparado con Libelium.	96
Figura 5.17: Gráfico del comportamiento de la Presión del Nodo 001 comparado con Libelium.	96
Figura 5.18 Gráfico del comportamiento de la Humedad del Suelo del Nodo 000 comparado con Libelium.....	104
Figura 5.19 Gráfico del comportamiento de la Humedad del Suelo del Nodo 001 comparado con Libelium.....	104
Figura 5.20 Gráfico del comportamiento de la Luz Ambiente del Nodo 000 comparado con el Luxómetro.....	106
Figura 5.21 Gráfico del comportamiento de la Humedad de las hojas del Nodo 000.	108
Figura 5.22: Radio máximo de alcance.....	109
Figura 5.23 Comparación de Nodos	114
Figura 5.24 Comparación de Gateway.....	114
Figura 5.25 Ubicación en la facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay	115
Figura 5.26: Ubicación en el campo de pruebas ubicado en la parroquia el Valle ..	115

Figura 5.27 Grafica de errores	116
Figura 5.28 Costos totales de la implementación	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Datos obtenidos de los casos de estudios de Libelium.	7
Tabla 2.1: Especificaciones de Protocolos de Comunicación Fuente.....	17
Tabla 3.1: Sensores primer diseño electrónico.	31
Tabla 3.2 Sensores del segundo diseño.....	33
Tabla 5.1 Comparación de sensores.....	57
Tabla 5.2 Cuadro comparativo de la Humedad Ambiental entregado por el Nodo 000.	61
Tabla 5.3 Tabla de errores de Humedad Ambiental del Nodo 000.....	66
Tabla 5.4 Cuadro comparativo de la Humedad Ambiental entregado por el Nodo 001.	66
Tabla 5.5 Tabla de errores de Humedad Ambiental del Nodo 001.....	69
Tabla 5.6 Cuadro comparativo de la Temperatura del Suelo entregado por el Nodo 000.....	71
Tabla 5.7 Tabla de errores de la Temperatura del Suelo del Nodo 000.....	75
Tabla 5.8 Cuadro comparativo de la Temperatura del Suelo entregado por el Nodo 001.....	75
Tabla 5.9 Tabla de errores de la Temperatura del Suelo del Nodo 001.....	77
Tabla 5.10 Cuadro comparativo de la Temperatura Ambiental entregado por el Nodo 000.....	79
Tabla 5.11 Tabla de errores de la Temperatura Ambiental del Nodo 000.....	83
Tabla 5.12 Cuadro comparativo de la Temperatura Ambiental entregado por el Nodo 001.....	84
Tabla 5.13 Tabla de errores de la Temperatura Ambiental del Nodo 001.....	86
Tabla 5.14 Cuadro comparativo de la Presión entregado por el Nodo 000.	88
Tabla 5.15 Tabla de errores de la Presión del Nodo 000.	92
Tabla 5.16 Cuadro comparativo de la Presión entregado por el Nodo 001.	93
Tabla 5.17 Tabla de errores de la Presión del Nodo 001.	95
Tabla 5.18 Cuadro comparativo de la Humedad del Suelo entregado por el Nodo 000.	97
Tabla 5.19 Tabla de errores de la Humedad del Suelo del Nodo 000.....	101
Tabla 5.20 Cuadro comparativo de la Humedad del Suelo entregado por el Nodo 001.	101
Tabla 5.21 Tabla de errores de Humedad del Suelo del Nodo 001.....	103
Tabla 5.22 Cuadro comparativo de la Luz Ambiente entregado por el Nodo 000 comparado con el Luxómetro.....	105
Tabla 5.23 Tabla de errores de luz ambiente del Nodo 000.....	105
Tabla 5.24 Cuadro de valores de los sensores humedad de hojas entregado por el Nodo 000.....	107
Tabla 5.25: Cuadro de los valores de la altitud entregado por el Nodo 000.	109
Tabla 5.26 Costos de desarrollo del equipo	110
Tabla 5.27 Costo por nodo	111
Tabla 5.28 Costo del Router.....	111
Tabla 5.29 Costos Libelium	112
Tabla 5.30 Costos Libelium por nodo.....	112
Tabla 5.31 Costo de un router Libelium	113
Tabla 5.32 Tabla de Comparación de valores	113

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto denominado, “Sistema de monitoreo de parámetros agrícolas para la supervisión de cultivos de manera remota basado en redes de sensores inalámbricos”, se refiere a la implementación de una red de sensores inalámbrica enfocada a la agricultura, que es capaz de medir distintos tipos de factores ambientales para ser visualizados a través de una página web.

Con el fin de implementar nuestro trabajo se estudiaron varios sistemas de monitorización de parámetros agrícolas basados en redes de sensores inalámbricos, destacándose de entre todos ellos el paquete de Smart Agriculture de Libelium, el cual es un sistema de fácil uso y de buenas prestaciones, pero presenta un costo alto. El sistema presentado en este trabajo pretende simular las características más importantes de Libelium, pero a un costo más accesible.

En el presente escrito se detalla la implementación de este proyecto dividido en 5 capítulos: Marco Referencial, Fundamentos Tecnológicos de una red inalámbrica, diseño e implementación de hardware, diseño e implementación de software y Resultados Finales.

1. CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL

1.1 Introducción

En el presente capítulo se resaltan los aspectos que motivaron a la implementación de este proyecto; entre estos se destaca una problemática general, en la que se explican varios parámetros ambientales y el efecto que estos tienen sobre los cultivos, también se presentará un análisis general del problema y una investigación sobre implantaciones de proyectos similares o con el mismo enfoque y nuestra solución planteada.

1.2 Problemática

La agricultura es una actividad muy importante, pues de ella se obtienen todos los productos de origen vegetal que sirven para la alimentación de los seres vivos, esta importante actividad se ve afectada por varios problemas como plagas, enfermedades en las plantas que afectan a la producción final de un cultivo. Muchos de estos problemas pueden llegar a evitarse a través de un monitoreo constante de los parámetros que afectan al entorno donde se desarrolla el cultivo, sin embargo, actualmente no existen equipos que nos provean de dicho servicio, los que existen son de una calidad baja, pues los medidores que poseen son imprecisos o sus medidas son relativas, otros que existen en el mercado presentan costos muy elevados, aunque su implementación es sencilla.

En el desarrollo de esta tesis se pretende implementar un sistema basado en redes inalámbricas de sensores que permita el constante monitoreo de factores ambientales enfocado a la agricultura y que su producción presente un costo asequible para cualquier agricultor.

Dentro de esta problemática se detallan los factores ambientales cuya monitorización y correcto control ayudarían al correcto desarrollo de un cultivo.

1.2.1 Factores Ambientales

Existen diversos factores ambientales que pueden afectar a una cosecha, a continuación, se detallan los más importantes:

1.2.1.1 Presión Atmosférica y Altitud

La presión atmosférica se define como la presión de aire que ejerce la atmósfera sobre algún punto de la superficie terrestre, a su vez, la altitud se define como la distancia vertical de cualquier punto sobre la superficie terrestre con relación al nivel del mar; estas medidas están ampliamente relacionadas, pues a mayor altitud menor será la presión atmosférica y viceversa. Ambas medidas afectan considerablemente a los cultivos ya que la presión atmosférica se encuentra relacionada con la velocidad de crecimiento de las plantas y la concentración de gases. (Yongkang, 2010)

La velocidad de crecimiento de las plantas se reduce si la presión atmosférica disminuye, es decir las plantas crecen, pero lo harían a un ritmo poco acelerado, esto se encuentra ligado al intercambio de gases importantes en la nutrición de las plantas; en síntesis, si la presión se reduce provocaría que las plantas no crecieran a un buen ritmo y si este parámetro se redujera considerablemente una planta no podría crecer ni desarrollarse correctamente por la falta de intercambio de gases vitales, tales como el oxígeno, que es fundamental para el crecimiento en cualquier cultivo o planta. (Yongkang, 2010)

1.2.1.2 Temperatura, Luz y Humedad Ambiente.

Muchos procesos biológicos se aceleran a altas temperaturas, lo que significa que en temperaturas muy calientes se da un rápido crecimiento de las plantas y mayor producción de frutos, sin embargo, este proceso es desfavorable, pues la mayor parte de la energía se utiliza en el crecimiento de la planta, lo que significa que quedará poca energía para los frutos, resultando en que estos sean más pequeños. (HatfieldJohn & Prueger, 2015)

Así también uno de los parámetros ligados a la temperatura ambiente es la cantidad de luz irradiada, pues grandes cantidades de luz significa que la planta se calentará demasiado, provocando los efectos mencionados anteriormente, así también bajas cantidades de luz afectan al proceso natural de la fotosíntesis impidiendo el correcto desarrollo de la planta. (Ariza, 2012)

Otro parámetro importante en el desarrollo de la planta es la humedad ambiente, que también es un factor que se relaciona con la temperatura de la planta ya que en días soleados la planta regula su temperatura mediante la evaporación de agua, lo que significa que una buena humedad alrededor de la planta ayudaría a que esta evitara

calentarse demasiado. Así también la humedad del ambiente es fundamental en el proceso de la fotosíntesis. (Weijer, 2016)

En conclusión, que para el correcto desarrollo de un cultivo tiene que existir un equilibrio entre estos tres factores a fin de que el cultivo se pueda desarrollar de la mejor manera evitando problemas en el crecimiento del fruto y en el proceso natural de la fotosíntesis.

1.2.1.3 Temperatura del Suelo

La temperatura del suelo es un factor fundamental a tener cuenta en el desarrollo del cultivo pues es en este elemento donde se encuentran sustancias como: hormonas y nutrientes mismas que son importantes para el desarrollo de las raíces de la planta, además este factor afecta también a la difusión de gases, fluidos, la solubilidad de iones; los cuales son factores que afectan al correcto metabolismo y crecimiento de la planta. (Fischer, 2000)

1.2.1.4 Humedad del suelo

La humedad del suelo como todos los factores anteriores, influye significativamente en el desarrollo de la planta, pues grandes cantidades de humedad significan que un cultivo puede marchitarse, mientras que bajas o nulas cantidades representan una alerta pues la planta podría morir si esta condición persiste. (Rafaela., 2007)

1.3 Motivación

La motivación principal de nuestro proyecto es la implementación de un equipo basado en redes inalámbricas de sensores que permita el monitoreo constante de parámetros ambientales que influyen en la producción final de cultivos. Los datos tomados con este equipo servirán para futuros proyectos de automatización, pues a través del uso de tecnologías actuales se podrá realizar un sistema que sea capaz de tomar decisiones con el fin de evitar enfermedades en los cultivos y mejorar la producción de estos.

Nuestro trabajo pretende ser el inicio de un sistema que permita la automatización de entornos para el correcto crecimiento de cultivos y mejora de la producción que sea accesible a los agricultores. Se pretende que el proyecto genere nuevas investigaciones abarcando campos como la agricultura de precisión, el riego inteligente y el control de enfermedades en plantas.

1.4 Solución Planteada

Como se mencionó en la problemática actualmente no existe un equipo en el mercado capaz de monitorizar parámetros agrícolas y que este a su vez presente un costo asequible, los pocos que existen no se conectan a la red y su lectura e implementación no presentan una buena calidad, todo esto se verá con detalle en el estado del arte en la sección 1.5.

La solución que se plantea es el diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos, que monitorice factores ambientales en cultivos y que almacene todas estas variables en una base de datos, la que se podrá consultar a través de un dispositivo móvil o un computador conectado a internet.

Se tiene pensado realizar un equipo que sea capaz de medir los siguientes parámetros:

- Presión Atmosférica
- Luz Ambiente
- Altitud
- Temperatura Ambiente
- Temperatura del Suelo
- Humedad del Suelo,
- Humedad de las Hojas
- Humedad Ambiente

Es decir, la solución planteada se refiere a que cada nodo de la red contenga sensores que permitan monitorizar los parámetros antes descritos, los mismos que enviarán los datos a un micro controlador a través de una comunicación alámbrica, con el objetivo de interpretar estos datos y armar una trama para enviarlo de manera inalámbrica a un servidor IoT, el que se encargará de almacenarlos en una base de datos para posteriores consultas.

En la figura 1.1 se presenta un esquema de la solución planteada; el fin del proyecto es el de monitorizar los parámetros antes mencionados de un cultivo y almacenarlos para futuras implementaciones.

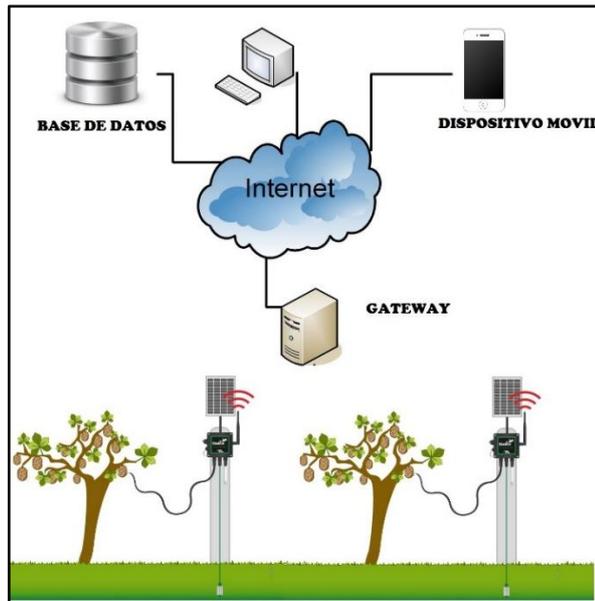


Figura 1.1: Red Inalámbrica de sensores; Solución planteada.

En la figura 1.2 se enseña un diagrama de bloques de la interconexión de sensores con el procesador y la comunicación hacia el exterior.

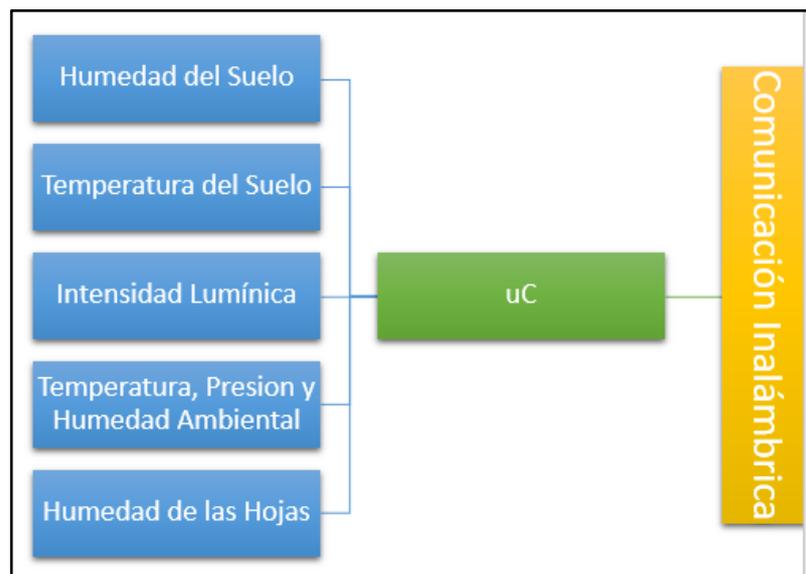


Figura 1.2: Red Inalámbrica de sensores; Solución planteada

1.5 Estado del Arte

El estado del arte para este proyecto se realizó mediante la revisión de la sección de casos de estudios que provee la empresa Libelium, dedicada a la fabricación de hardware y software para redes de sensores inalámbricos; se encontraron numerosas aplicaciones de su kit "Smart Agriculture 3.0" que se utiliza para varias aplicaciones en el campo de la agricultura tales como: riego inteligente, agricultura de precisión, mejora de producción de cultivos, entre otros. Se utilizó toda esta información para

armar un cuadro informativo en donde se indican los principales sensores utilizados en cada aplicación, a fin de conocer los más comunes para integrarlos en el sistema que se desea implementar, dicha información puede encontrarse en la tabla 1:

Tabla 1.1: Datos obtenidos de los casos de estudios de Libelium.

Aplicación	Descripción	Sensores
Sistema de riego inteligente para mejorar la producción de kiwi en Italia. (Libelium, Smart irrigation system to improve kiwi production in Italy, 2017)	Implementación de redes de sensores inalámbricos con conexión Sigfox y GPRS en una plantación de kiwi para desarrollar un sistema de riego inteligente	Humedad del Suelo
		Diámetro de Fruto
		Temperatura Humedad y Presión
Agricultura de Precisión de Interior en plantaciones de marihuana medicinal americana. (Libelium W. , 2016)	Proporcionar el máximo rendimiento en cultivos de marihuana medicinal y resultados de alta calidad para ofrecer el mejor producto de calidad en la industria.	Radiación Solar
		Humedad de Hojas
		Diámetro de Tallo
		Temperatura Humedad y Presión
Agricultura de precisión para controlar el riego y mejorar las estrategias de fertilización en cultivos de maíz. (Libelium., Precision Farming to control irrigation and improve fertilization strategies on corn crops, 2016)	Implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real en una zona rural de Italia para mejorar la productividad al predecir los rendimientos de los cultivos de maíz y conocer las necesidades de agua y fertilizantes.	Humedad de Hojas
		Temperatura Humedad y Presión
		Humedad del Suelo
		Temperatura del Suelo
Mejora de la producción de cultivos de banano y sostenibilidad agrícola en Colombia utilizando redes de sensores. (Libelium., 2016)	Desarrollar una red de sensores inalámbricos en cultivos de plantaciones en Colombia para promover una agricultura sostenible y mejorar la productividad.	Temperatura Humedad y Presión
		Humedad del Suelo
		Temperatura del Suelo
		Diámetro de Tronco
		Diámetro de Fruto
		Radiación Solar
		Pluviómetro
Aumento de la calidad de los cultivos de tabaco por control climático. (Libelium, 2016)	Aumentar la cantidad y calidad de los cultivos de tabaco y apoyar las decisiones sobre las operaciones agrícolas mediante el monitoreo de las condiciones climáticas.	Temperatura Humedad y Presión
		Estación meteorológica
		Humedad del Suelo
		Humedad de Hojas
Cultivo inteligente de fresas aumenta la calidad y reduce el tiempo de cosecha. (Libelium, 2016)	Agricultura inteligente para obtener datos con el fin de optimizar los cultivos de fresas en Emilia Romagna, Italia	Humedad del Suelo
		Sensor de Luminosidad
		Temperatura Humedad y Presión
Estación de Investigación del Cacao en Indonesia. (Libelium, 2015)	Monitorización del medio ambiente para ayudar a los agricultores indonesios a mejorar la producción de cacao	Humedad del Suelo
		Sensor de Luminosidad
		Temperatura Humedad y Presión
Predicción de condiciones y prevención de enfermedades en viñedos. (Libelium, 2015)	Monitorización constantemente para viñedos a través múltiples parámetros ambientales con el fin de evitar plagas y optimizar el riego	Humedad del Suelo
		Humedad de Hojas
		Temperatura Humedad y Presión

A parte de estos prototipos se han desarrollado papers para la IEEE en donde se implementan redes de sensores de bajo costo para la agricultura de precisión, en este estudio se monitoriza tan solo la humedad y temperatura del suelo y se los transmite mediante módulos RF utilizando micro controladores microchip, para la lectura de las señales. (G.Sahitya, Dr.N.Balaji, & Naidu., 2016)

Otro estudio muestra una red de sensores en donde se utilizan 4 sensores: humedad del suelo, temperatura, humedad relativa e intensidad lumínica, todos ellos conectados a un Arduino UNO el que realiza la lectura y el posterior envío a través de comunicación Zigbee. (Flores, y otros, 2016)

Se encontró la implementación de una red de sensores en la que se utiliza para monitorear: intensidad de la luz, pH, humedad del suelo, humedad relativa y conductividad eléctrica, estos datos son enviados por Zigbee hacia una Raspberry que actúa como un servidor local en la que se aloja una página web que indica todos los parámetros que se monitorizan. (John, 2016)

Un último estudio que se consultó indica una red de sensores de humedad de suelo utilizada para riego inteligente, dicha red envía los datos por Zigbee hacia el colector el cual utiliza tecnología GSM para subir los datos a la nube y que estos sean consultados por el usuario final. (Mat, Kassim, Harun, & Yusoff, 2016)

Como se puede observar los temas de investigación referidos en este punto, reflejan proyectos con menos sensores y los costos son relativamente parecidos, pero no representan en teoría la misma aplicación del equipo; en muchas de las ocasiones solo representa la lectura de sensores y no existe la consulta de la página web; es decir todos estos parámetros permiten destacar que el equipo que se plantea desarrollar es de mejor calidad, con mayor tecnología, mejor precisión y exactitud y en general mayor aplicación dentro de la agricultura.

1.6 Conclusiones

En este capítulo se menciona la problemática del proyecto, la misma que se refiere a que no existen equipo en el mercado que nos permitan monitorizar parámetros ambientes en el sector agrícola; de existir estos equipos se puede solventar problemas como plagas, enfermedades en las cosechas e incluso se puede lograr una mejor producción de las mismas.

Asimismo, se indicaron factores ambientales que de ser correctamente monitorizados y controlados ayudarían al correcto desarrollo de un cultivo, entre ellos tenemos presión atmosférica, altitud, temperatura luz y humedad ambiental, temperatura y humedad del suelo.

La solución planteada dentro de este proyecto consta del diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos, misma que sea capaz de medir los parámetros indicados anteriormente y que presente una interfaz digital que sea de fácil uso y acceso para cualquier agricultor.

En el estado del arte de este proyecto se pudo observar varias implementaciones similares sobre este tema, entre ellas se destacan los casos de estudio de la empresa Libelium, en la que está basada la mayor parte de la solución planteada, esta empresa provee de equipos de fácil uso y buenas prestaciones pero que presentan un costo alto; el equipo planteado pretende cubrir las características más importantes y a un costo accesible para cualquier agricultor.

Finalmente, el desarrollo de este equipo podrá ayudar a futuras investigaciones sobre temas similares, como son: agricultura de precisión, riego inteligente, control de enfermedades en cultivos, entre otros.

2 CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS DE UNA RED DE SENSORES.

2.1 Introducción

El capítulo presentado a continuación explica los puntos más importantes en la implantación de una red inalámbrica de sensores, además da una explicación sobre los elementos a utilizarse tales como: sensores, elementos de alimentación, sistemas de comunicación, entre otros.

2.2 Red inalámbrica de sensores

2.2.1 Introducción

Gracias al avance de la tecnología, se ha percibido un notable crecimiento de las comunicaciones inalámbricas y la convergencia de diversos tipos de redes. Una muestra de ello es la evolución de redes inalámbricas, algunas de ellas integran sensores distribuidos lógicamente y espacialmente sobre un ambiente o fenómeno, lo que permite registrar y almacenar diversos parámetros físicos y transmitir esta información hacia una localización central para almacenarla y visualizarla. (Ibrahim Mat, 2016)

Como puede intuirse por su nombre, una red de sensores inalámbricos, WSN por sus siglas en inglés, se define como una agrupación de múltiples nodos sensoriales distribuidos estratégicamente sobre un fenómeno, que tienen el objetivo de monitorizar condiciones físicas o ambientales sean estas de: temperatura, sonido, vibración, movimiento o humedad cuya comunicación se realiza de manera inalámbrica a un centro de coordinación, (Akyildiz, 2002) estas redes se caracterizan por su bajo coste, auto organización, bajo consumo, atención humana prescindible, tolerancia a fallos y escalabilidad. (Ibrahim Mat, 2016)

Las características citadas anteriormente garantizan una amplia gama de áreas en donde puede utilizarse esta tecnología como son: la salud, en aplicaciones de monitoreo de enfermedades, identificación de patrones para apoyar los diagnósticos médicos y detección de condiciones anómalas para la generación de alarmas (Peláez, 2013); la agricultura, cuyas funciones radican en: el control riego, detección de plagas para la correcta aplicación de fertilizante o pesticida y predicción de la cosecha en base al clima (Vásquez, 2013)

2.2.2 Topología de una red de sensores.

La topología de una red es la conexión física y lógica de todos los dispositivos que conforman la red, influyendo este parámetro en su funcionamiento y rendimiento. Para escoger la correcta topología se deben tomar en cuenta varias características de la red como son: el número de nodos, detección a fallos y escalabilidad de la red. Los siguientes tipos son las topologías más utilizadas. (Ibrahim Mat, 2016)

2.2.2.1 Topología Tipo Bus.

En esta tecnología todos los nodos se encuentran conectados a un solo canal de comunicaciones llamado bus, por lo que si un nodo se descompone no afecta al resto de la red; sin embargo, una complicación es que toda la información que circula en la red depende del bus de comunicación por lo que si este se rompe todos los nodos quedan incomunicados.

2.2.2.2 Topología Tipo Estrella.

En este tipo de topología todos los nodos se concentran a un nodo central, el cual controla todo el tráfico de datos de la red, al centralizar el tráfico de la red en un solo punto, si uno de los nodos falla no afecta al resto; sin embargo, si este nodo central falla todos los dispositivos perderán el acceso a la red.

2.2.2.3 Topología Tipo Árbol.

Esta topología se basa en que cada nodo se conecta a otro nodo que posee mayor jerarquía hasta llegar al nodo primario, que se encarga de concentrar toda la información, pudiendo describir esta red como un conjunto de redes en estrella conectadas a través de un enlace troncal de donde se ramifican más nodos. Esta red presenta una manera mucho más simple de expansión sin embargo si un nodo llegara a fallar esto repercute en el resto de los nodos que se encuentren conectados a él.

2.2.2.4 Topología Tipo Malla.

Es un tipo de topología descentralizada, por lo que cada uno de los nodos se conecta a todos los demás, de manera que los datos puedan transmitirse de un nodo hacia otro por distintos caminos permitiendo una trayectoria redundante y de esta manera una red más robusta. Posee una mayor tolerancia a fallos y alta fiabilidad pues si un nodo falla no se perderá la información ya que esta puede viajar por otra ruta; sin embargo, su implementación es compleja ya que requiere de complejos algoritmos de distribución para determinar su organización.

2.2.3 Protocolos inalámbricos.

Las comunicaciones inalámbricas son las tecnologías que utiliza la red de sensores para enviar los datos hacia el nodo principal, estas deben ofrecer las facilidades para la intercomunicación entre los diferentes dispositivos a distancias importantes y altas velocidades de transmisión sin el uso de cableado, entre los más importantes se encuentra:

2.2.3.1 Zigbee

Es un estándar de uso libre desarrollada por Alianza Zigbee, basada en el estándar de comunicación IEEE 802.15.4, con velocidades entre los 20 kbps y 250 kbps. Este estándar es altamente utilizado en las redes de sensores ya que puede operar con otras tecnologías de radiofrecuencia, así también utiliza el protocolo AES-128 que usa un bloque de cifrado complejo que encripta los paquetes de tal manera que sea difícil vulnerar la red.

En una red Zigbee existen tres tipos de dispositivos, en primer lugar, el coordinador de red el que mantiene el conocimiento de toda la red, por ello requiere más memoria y potencia de cálculo, en segundo lugar, el router es el encargado del enrutamiento de los mensajes hacia el coordinador y los dispositivos finales que es el elemento básico de la red encargado de enviar los datos hacia el coordinador. (Vásquez, 2013)

2.2.3.2 Wi-Fi

Es un estándar inalámbrico que se conoce por su interoperabilidad entre diferentes dispositivos inalámbricos que soporten el estándar 802.11. Existen una gran variedad de configuraciones que ayudan a que las redes que utilicen este protocolo se adapten a esta necesidad. Este estándar ofrece varios tipos de cifrado para la transmisión segura de la información, entre ellos se encuentra el WEP y el WPA. (Vásquez, 2013)

2.2.3.3 Bluetooth

Es un radio enlace de corto alcance que se utiliza para redes WPAN, funciona en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y no precisa ninguna licencia, siendo su máxima velocidad 3 Mbps, los componentes que se utiliza para esta red son más pequeños y baratos que los utilizados para Wi-Fi además de consumir menos energía.

La comunicación se basa en el principio de maestro – esclavo, definiéndose a una piconet como un grupo de equipos que comprende de un maestro y ocho esclavos como máximo donde la comunicación solo existe entre el maestro y los esclavos, más no entre los esclavos. (Vásquez, 2013)

2.3 Elementos que componen una red inalámbrica de sensores

En el capítulo presente se indicaron una serie de componentes que son parte fundamental de la red inalámbrica a implementar como: sensores que son los elementos encargados de tomar datos de los parámetros a medir, elementos de comunicación, entre otros; a continuación, se detallan los elementos correspondientes según los grupos ya definidos.

2.3.1 Sensores

"Un sensor es un dispositivo que a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de energía transducible que es función de la variable medida" (George Eldho John, 2016), es decir, un sensor es un dispositivo que reacciona ante magnitudes físicas o químicas como intensidad lumínica, temperatura, presión, humedad, entre otros; transformando esta interacción en una variable eléctrica como: resistencia, capacitancia, tensión o corriente eléctrica, la cual varía en función de la variable medida. (Akyildiz, 2002) A continuación, se detalla los sensores a utilizar.

2.3.1.1 Sensor de Humedad del suelo (FC-28)

El sensor de humedad de suelo FC-28, es un sensor cuyo funcionamiento es muy sencillo, como se observa en la figura 2.1, cuenta con dos puntas o sondas, las cuales variaran su valor de resistencia dependiendo de la humedad del suelo en donde la sonda se encuentre colocada, en suelos bastantes húmedos la resistencia entre las dos placas será mínima y de igual manera de forma contraria. (PALACIOS, 2016)

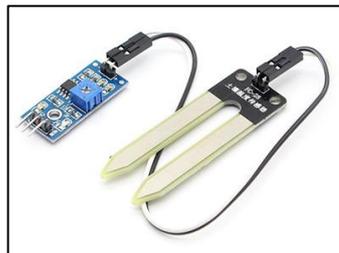


Figura 2.1: Sensor de Humedad del Suelo

Fuente: (Llamas, 2018)

2.3.1.2 Sensor de Temperatura del suelo (DS18B20)

El sensor de temperatura del suelo DS18B20, como se observa en la figura 2.2, es una sonda impermeable de muy fácil uso; este consta con rangos de mediciones desde los menos 55°C hasta los 125°C según las especificaciones de su fabricante; cabe recalcar que este dispositivo usa un protocolo de comunicación 1-WIRE, dicho protocolo nos permite conectar una gran cantidad de sensores a un mismo bus de comunicación. (Izquierdo, 2017)



Figura 2.2: Sensor de Temperatura del suelo DS18B20

Fuente: (Electronilab, 2018)

2.3.1.3 Sensor Humedad de Hojas (YL-83)

El sensor de humedad de hojas YL-83 nos permite detectar la humedad presente en las hojas a través del cambio de conductividad de la placa del sensor, tiene un funcionamiento similar al FC-28 presentado en el punto 2.4.1.1 su uso y lectura son de fácil interpretación y es de costo bajo, lo cual lo hace muy útil en la red de sensores, una muestra del sensor se puede observar en la figura 2.3. (Izquierdo, 2017)



Figura 2.3: Sensor de Humedad de las hojas

Fuente: (Llamas, 2018)

2.3.1.4 Sensor Temperatura Humedad y Presión (BMP280)

El sensor BMP280 mide los parámetros de temperatura, presión atmosférica y altitud, su tamaño bastante reducido, en conjunto con su fácil manejo lo hacen muy útil para la implementación; este dispositivo cuenta con comunicación I2C y SPI para enviar los datos de los parámetros antes mencionados, el sensor se puede observar en la figura 2.4. (Bafverfeldt, 2016)

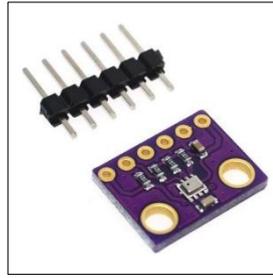


Figura 2.4 Sensor BMP280

Fuente: (JOOM, 2018)

2.3.1.5 Sensor de Luminosidad (TSL2561)

El sensor de luminosidad TSL2561 se encarga de medir la cantidad de luxes presentes en el entorno, de la misma forma que el anterior sensor usa un protocolo de comunicación I2C para enviar los datos que el sensor toma; es un dispositivo de bajo costo y de fácil aplicación; se puede observar en la figura 2.5.



Figura 2.5: Sensor de luminosidad TSL2561

Fuente: (Adafruit, 2018)

2.3.1.6 Sensor DTH22

El sensor DTH22, como se ve en la figura 2.6, es un elemento que nos permite medir la humedad relativa y la temperatura ambiente cuyos rangos de medición se encuentran entre los -40 a 80 grados centígrados y del 0% al 100% de humedad relativa; su costo es relativamente bajo y de sencilla implementación. (Marín, 2017)

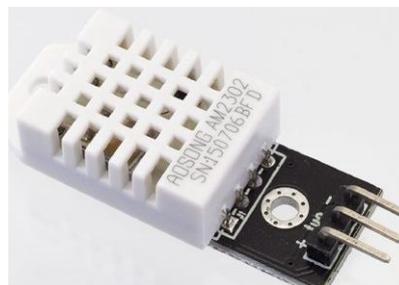


Figura 2.6: Sensor DTH22

Fuente: (cdtecnologia, 2018)

2.3.1.7 Sensor SHT10

El sensor SHT10 es un elemento que nos permite medir la humedad y la temperatura del suelo, se puede observar en la figura 2.7; entre sus características más importantes presenta una carcasa a prueba de agua que protege a los elementos de la corrosión; de fácil manejo y costo relativamente bajo. (Sensirion, 2011)



Figura 2.7: Sensor SHT10

Fuente: (bricogeek, 2018)

2.3.2 Elementos de comunicación

2.3.2.1 XBEE

El elemento de comunicación inalámbrica que se utilizará en la red de sensores es un módulo XBEE; los cuales son chips desarrollados por la empresa Digi; que funciona bajo el protocolo de comunicación Zigbee para aplicaciones de tráfico de datos muy altas, dichos módulos cumplen con los requerimientos necesarios para el desarrollo final. (Guardia, 2016)

Existen varios modelos de módulos XBEE por lo que se realizó una búsqueda de información sobre las distintas configuraciones que estos presentan para poder escoger el que mejor se adapte al proyecto, para la elección del módulo se consideró los aspectos más importantes como distancia para coberturas, consumo de energía estos datos se tomaron de la tabla 2.1 y se presenta a continuación.

Tabla 2.1: Especificaciones de Protocolos de Comunicación Fuente

RADIO	PROTOCOLO	BANDAS DE FRECUENCIA	POTENCIA DE TRANSMISIÓN	SENSIBILIDAD	RANGO
XBEE-PRO 802.15.4 EU	802.15.4	2.4GHz	10 dBm	-100dBm	750m
XBEE-PRO 802.15.4	802.15.4	2.4GHz	18 dBm	-100dBm	1600m
XBEE 868LP	RF	868MHz	14 dBm	-106dBm	8.4km
XBEE 900HP US	RF	900MHz	24dBm	-110dBm	15.5km
XBEE 900HP BR	RF	900MHz	24dBm	-110dBm	15.5km
XBEE 900HP AU	RF	900MHz	24dBm	-110dBm	15.5km

Fuente: (Libelium., Precision Farming to control irrigation and improve fertilization strategies on corn crops, 2016)

Basados en los datos del cuadro, se procedió a conseguir los dispositivos XBEE PRO 900HP los cuales se ajustan hacia las necesidades de la red y permiten un gran alcance; los equipos adquiridos se refieren a un kit para aprendizaje y desarrollo de la red como se ve en la figura 2.8.



Figura 2.8: Equipos XBEE

Fuente: (DIGI, 2018)

La comunicación I2C viene implementada para la lectura de los sensores denominados BMP280, TSL2561 y un módulo ADC que se utiliza para la lectura de los sensores de humedad de hojas; este protocolo de comunicación se implementa bajo dos líneas de conexión, SDA que es la línea por donde se transmiten los datos entre maestro y esclavo de manera bidireccional; mientras tanto la segunda línea SCL se refiere a la señal de CLOCK o señal de reloj de sincronismo. (Osio, Antonini, Aróztegui, & Rapallini, 2011)

2.3.2.2 Comunicación Serial

La comunicación serial es un protocolo de comunicación que presenta una línea de transmisión y de recepción; esta a su vez tiene distintos modos de transmisión tales como simplex, half-duplex y full dúplex; en el proyecto planteado el modo de transmisión determinado es simplex debido a una comunicación entre el microcontrolador y el módulo XBEE en un solo sentido; lo que permite enviar los datos de los sensores leídos por el microcontrolador hacia el módulo XBEE para su transmisión inalámbrica posterior. (Osio, Antonini, Aróztegui, & Rapallini, 2011)

2.3.3 Sistemas de Alimentación

Los nodos de la red al colocarse en medio de los cultivos necesitan ser autónomos es decir que tengan su propia fuente de alimentación y no estén conectados a la red eléctrica, por lo tanto, cada nodo debe tener la capacidad de alimentar a todos los componentes y funcionar de manera correcta durante el transcurso del día y noche; a continuación, se destacan dos componentes que se utilizaran para este objetivo:

2.3.3.1 Panel Solar

El panel solar es un componente que nos permite captar la radiación solar en sus colectores solares generando energía, dependiendo del tamaño que tenga; este elemento nos permitirá obtener energía del sol para poder cargar baterías y hacer que el sistema funcione de manera autónoma; el panel solar usado se puede observar en la figura 2.9.

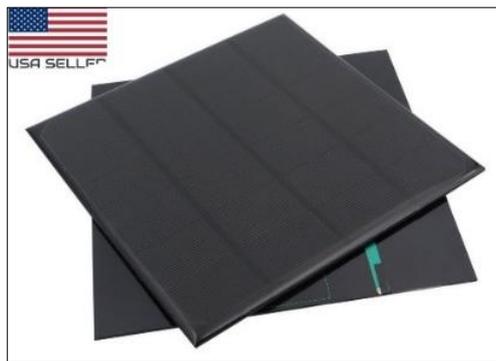


Figura 2.9: Panel Solar

Fuente: (Ebay, 2018)

2.3.3.2 Baterías

Las baterías son elementos importantes dentro de la red de sensores, pues estas almacenarán la energía que genere el panel solar, deben tener una buena capacidad para poder resistir la carga del equipo durante una noche cuando el panel solar no genere energía; las baterías se pueden observar en la figura 2.10.



Figura 2.10: Baterías

Fuente: (CARPRIE, 2018)

2.4 Servidor IoT

Internet de las cosas o IoT por sus siglas en inglés hace referencia a la interconexión de objetos mundanos a internet, un gran número de objetos cotidianos se encontrarán interconectados a través de nuestras redes domésticas, con el fin de controlarlos o monitorizarlos. Por ello se necesita un servidor IoT que centralice los servicios de red que sean necesarios para la correcta implementación de sistema algunos de los más importantes a considerar son:

2.4.1 Base de Datos

Una base de datos se describe como un conjunto de información sobre un tema en específico. Para la implementación del proyecto, los nodos de la red de sensores son los encargados de enviar información acerca de su estado, dicha información debe ser guardada en una base de datos con el fin de poder consultarla cuando sea necesario.

2.4.2 SQL

“SQL es un lenguaje de consulta estructurado, surgido de un proyecto de investigación de IBM para el acceso a bases de datos relacionales”. Nos referimos a este punto específico como un lenguaje estándar ya establecido en cuanto a lectura de bases de datos se refiere; los programas o software a considerar conllevan las normas establecidas de este sistema y que puede soportarse en todo tipo de ordenadores. (Natsys, 2014)

2.4.3 MYSQL

Este software es un sistema de “gestión de base de datos relacional, multi hilo y multiusuario creado por la empresa MySQL AB desde enero de 2008”. Este programa es uno de los principales en el uso de base de datos, por lo tanto, es muy probable su uso en este proyecto como tal, ya que cuenta con herramientas muy necesarias para el desarrollo correcto del sistema planteado, como su combinación propia con PHP, relacionado directamente con el desarrollo de aplicaciones web. En la figura 2.11 se puede observar el logo del software. (Natsys, 2014)



Figura 2.11 Software MYSQL

Fuente: (Corporation, 2018)

En el software presenta ventajas y desventajas en su uso, dependiendo de la aplicación final se puede considerar puntos fuertes sobre el sistema, y sobre todo en la elección final en comparación con otro software destinado al mismo tipo de servicios. A continuación, se puede considerar ventajas más relevantes sobre el software.

Ventajas de MYSQL:

- El sistema es de multiplataforma
- Puede ser muy sencillo de configurar
- Puede soportar una gran variedad en cuanto a tipos de datos para columnas
- Dispone de API's compatibles y para mejor uso con PHP, C++, JAVA, entre otros
- Gestión permanente en usuarios y contraseñas, considerando un buen nivel en cuanto a seguridad de datos (Natsys, 2014)

2.4.4 MARIADB

Entre los gestores de bases de datos se encuentra el software MARIADB, el cual es un programa basado directamente de MySQL; las diferencias más relevantes lo destacan como un software de mejor rendimiento y funcionalidades distintas y útiles, destacando también cambios en motores de funcionamiento, tablas y velocidad. En la figura 2.12 se puede observar el logo del software. (Ing. Irina Blanco Gil, 2015)



Figura 2.12 Software MariaDB

Fuente: (MariaDB, 2018)

2.5 CONCLUSIONES

En este capítulo se revisa las características más importantes y las cuales deben tomarse en cuenta al momento de implementar una red inalámbrica de sensores como lo son la topología y los tipos de comunicación inalámbrica. Estos elementos son los que determinan el diseño inalámbrico de la red, pues dependiendo de las características que se requieran se puede usar distintas combinaciones de estos elementos.

Se revisaron los elementos que componen la red tales como sensores y elementos electrónicos que van conectados en el nodo se indicaron las características más importantes de los sensores que se utilizarán en el desarrollo de este proyecto, mismos que nos ayudarán a medir los parámetros mencionados en la solución planteada.

3 CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE HARDWARE

3.1 Introducción

En este capítulo se describe los pasos para la implementación del hardware de la red de sensores, se destacan las características técnicas de los elementos que se utilizaron tanto en la fabricación del nodo como en la fabricación del Gateway, así también se explica las diferentes etapas del diseño de las tarjetas electrónicas y los inconvenientes que se presentaron en el desarrollo del proyecto.

3.2 Elementos que componen los nodos

En este punto se refleja los elementos utilizados en la construcción de un nodo; se explican las características técnicas de cada elemento y el papel que este tiene en la red de sensores.

Los elementos que componen esta red se dividen en cuatro grupos: sensores, microcontroladores, elementos de alimentación y elementos de comunicación. A continuación, se explican cada uno de ellos.

3.2.1 Sensores

Los sensores son una parte fundamental en el hardware de este proyecto, siendo los encargados de leer la información del ambiente, estos deben ser cuidadosamente escogidos pues deben presentar una buena calidad en cuanto a la lectura de datos.

Como se indicó en la sección 1.4 Solución Planteada, la red de sensores medirá los siguientes parámetros:

- Presión Atmosférica
- Luz Ambiente
- Altitud
- Temperatura Ambiente
- Temperatura del Suelo
- Humedad del Suelo,
- Humedad de las Hojas
- Humedad Ambiente

A continuación, se indica los elementos que se utiliza para realizar cada medida.

3.2.1.1 Sensor Temperatura y Presión (BMP280)

En la estructura del nodo, se necesita un sensor capaz de medir la presión atmosférica, la altitud y temperatura ambiental; la idea general es que cada nodo contenga un sensor que informe de estos parámetros, el sensor se aprecia en la figura 3.1.

El nodo contará con dos sensores BMP280, los cuales presentan las siguientes características, las cuales se toman en cuenta para la implementación del proyecto tal:

- Rango de presión 300-1100 hPa
- Rango de temperatura -40°C a 85°C
- Interfaz I2C (arriba de 3.4Mhz)
- Interfaz SPI (Pin 3 y 4 arriba de 10MHz)
- Corriente de trabajo 2.8uA
- Voltaje de alimentación: 1.71-3.6V
- Dimensiones: 13x10x03 mm
- Peso: 0.2 g.

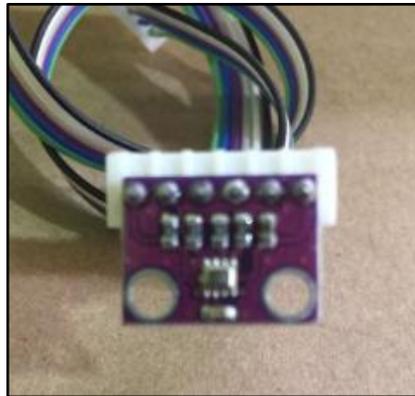


Figura 3.1 Sensor BMP280

3.2.1.2 Sensor de Luminosidad (TSL2561)

La luz del ambiente también se especifica como un factor importante reflejado en el capítulo 1, en este se recalca que esta depende mucho en los procesos de fotosíntesis; pero que debe ser controlada para cada tipo de cultivo, debido a que algunas plantaciones requieren mayor sombra o mayor luz que otras; para la medición de este parámetro se emplea el sensor TSL2561, de igual manera se coloca dos dispositivos para comparación y prueba de errores.

El hardware este sensor representa una parte importante en el diseño y la estructura, el integrado se aprecia en la figura 3.2; este sensor es el encargado de medir la cantidad de luxes presentes en el cultivo; la comunicación I2C es la que se implementa en este sensor para enviar los datos.

Las características del sensor son las siguientes:

- Aproxima la respuesta del ojo humano.
- Mide con precisión la iluminación en diversas condiciones de iluminación.
- Rango de temperatura: -30 a 80 grados centígrados.
- Rango dinámico (Lux): 0.1 a 40,000 Lux.
- Rango de voltaje: 2.7-3.6V
- Interfaz: I2C

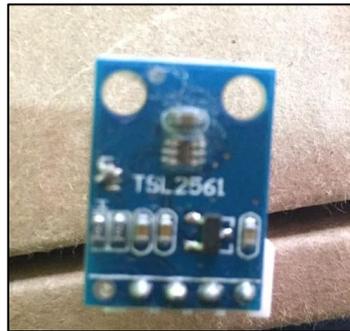


Figura 3.2 Sensor TSL2561

3.2.1.3 Sensor Humedad de Hojas (YL-83)

El sensor encargado de esta lectura es el YL-83, se ve en la figura 3.3, este se encarga de detectar la humedad presente en las hojas; para su implementación se soldó a la tarjeta un cable de 1 metro de extensión terminado en un conector de 4 pines, esto se hizo para que el sensor se coloque directamente a las hojas. Las especificaciones del sensor se describen a continuación:

- Voltaje de Operación: 3.3V-5V
- Tamaño de PCB: 3.2cm x 1.4cm
- Tamaño de celda: 5cm x 4cm
- Chip Comparador: LM393



Figura 3.3 Sensor de Humedad de las Hojas

3.2.1.4 Sensor de humedad ambiental (DTH22)

El sensor encargado de medir la humedad ambiental es el DTH22, como se ve en la figura 3.4, este sensor implementado en el diseño final es un dispositivo con las siguientes características:

- Voltaje de alimentación: 3.3 VDC - 5.5 VDC
- Rango de medida: -40°C hasta 80°C
- Resolución: +- 0.5 °C
- Tiempo de muestreo: 2s
- Rango de medida de humedad: 0 a 99% Humedad Relativa
- Resolución: +- 2% Humedad Relativa
- Tiempo de muestreo: Menor a 5s



Figura 3.4 Sensor DTH22

3.2.1.5 Sensor de humedad y temperatura del suelo (SHT10)

El sensor SHT10 es el encargado de medir la temperatura y humedad del suelo, como se ve en la figura 3.5, se escogió por ser un componente que posee una carcasa a prueba de agua, y por medir temperatura y humedad en un solo componente, lo cual reduce la circuitería necesaria y el consumo de corriente, las características del sensor son la siguientes:

- Voltaje de alimentación: 2.4 VDC - 5.5 VDC
- Rango de medida de temperatura: hasta 120°C
- Resolución: +- 0.5 °C
- Rango de medida de humedad: 0 – 100% RH
- Resolución: 4.5%



Figura 3.5 Sensor STH10

3.2.2 Microcontroladores

Los microcontroladores son utilizados en el nodo para realizar la lectura de los sensores y enviar los datos al módulo de comunicación inalámbrica, a continuación, se detallan los elementos utilizados.

3.2.2.1 Trinket 5V

El integrado o circuito eléctrico denominado “Trinket 5V”, es el primer dispositivo que se usó como microcontrolador para la recepción y envío de datos; este dispositivo presentó un problema de pruebas iniciales, pues la memoria que poseía este microcontrolador era muy poca para almacenar el código necesario.

Dada las razones anteriormente citadas se cambió de integrado, pero cabe recalcar su uso para la prueba de sensores en el prototipo inicial, el integrado se ve en la figura 3.6.

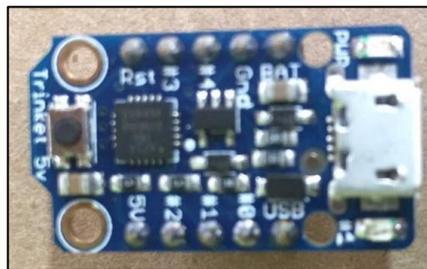


Figura 3.6 Trinket 5v

3.2.2.2 Microcontrolador ATMEGA368p

Este microcontrolador fue el implementado en la parte de hardware al contar con los puertos y memoria suficiente para la implementación final del proyecto planteado; dentro de la parte de hardware se realizó la implementación final alrededor de este dispositivo.

A pesar que es este microcontrolador cuenta con los puertos necesarios, se requirió el diseño de una tarjeta para poder grabar el código en el microcontrolador, este integrado se ve en la figura 3.7.



Figura 3.7 ATMEGA328P

3.2.2.3 Raspberry Pi 3

El dispositivo conocido como raspberry Pi 3; como se ve en la figura 3.8, es un sistema embebido de propósito general para distintas aplicaciones electrónicas; su principal función es la de centralizar toda la información de la red de sensores y almacenarla en una base de datos, su funcionamiento es como el router de esta red.



Figura 3.8 Raspberry Pi 3

3.2.2.4 Convertidor Analógico Digital ADS1115

Por último, se tiene un elemento convertidor analógico digital, este dispositivo se conecta a los sensores de humedad de hoja, ya que estos valores requieren una conversión para su mejor interpretación; se optó por usar este elemento pues provee una ADC de 16 bits que nos da una mayor resolución que cualquier otro ADC presente en los microcontroladores, así como utiliza una comunicación I2C. Este convertidor se ve en la figura 3.9.



Figura 3.9 Convertidor Analógico Digital

3.2.3 Sistemas electrónicos para la fuente de alimentación

Los componentes electrónicos para la fuente de alimentación son dispositivos que tienen la función de subir o bajar valores de voltaje, que proceden del panel solar y baterías para el uso constante del equipo; todas las características de estos elementos, se especifican a continuación.

3.2.3.1 Panel Solar y Baterías

El panel solar es un dispositivo electrónico que convierte la energía solar en energía eléctrica; este elemento es encargado de hacer que el sistema produzca corriente eléctrica que cargará las baterías, haciendo que el nodo implementado sea autónomo y no dependa de una corriente del exterior.

Estructuralmente el panel solar se encuentra en la parte superior del equipo para poder capturar la mayor cantidad de radiación solar y de acuerdo a sus especificaciones el panel tiene una potencia máxima de 6 vatios; lo que permite que las baterías permanezcan en funcionamiento contante.

Al igual que el panel solar las baterías son sumamente importantes, estos dispositivos en conjunto, hacen que el nodo funcione de manera autónoma; en el día el panel solar genera energía que es almacenada por las baterías con el fin de que estas mantengan el funcionamiento del sistema durante el transcurso de la noche.

En la figura 3.10 se puede observar el panel a lado izquierdo y las baterías del lado derecho, las cuales son los dispositivos implementados en este proyecto.



Figura 3.10 Panel y Baterías

3.2.3.2 Dispositivo XL60009

Las baterías, son los dispositivos encargados de proporcionar voltaje y corriente específicas hacia todo el sistema; sin embargo, este voltaje suministrado no corresponde directamente con el voltaje requerido por los microcontroladores y sensores. El dispositivo XL6000, es un componente electrónico que eleva el voltaje, convirtiendo los 3.7 voltios que proporcionan las baterías en 5 voltios necesarios para la alimentación del microcontrolador; este sistema se observa en la figura 3.11.

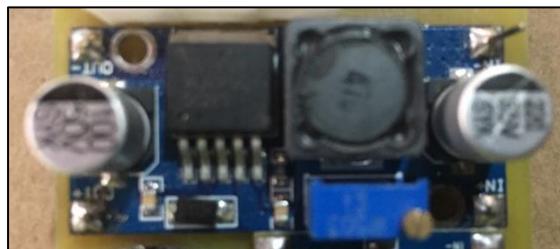


Figura 3.11 Dispositivo XL60009

3.2.3.3 Regulador de Voltaje 3.3v

Como se vio en el punto anterior, se requieren valores de voltaje específicos para microcontroladores y sensores; en este punto tenemos un regulador de voltaje que va destinado para los sensores, los cuales funcionan a un voltaje de 3.3 voltios mismos que son suministrados por este dispositivo; tras regular la salida de 5 voltios del elevador XL6009; este sistema se puede observar en la figura 3.12.



Figura 3.12 Regulador de Voltaje 3.3v

3.3 Diseño Global

El diseño global del dispositivo presenta un conjunto de sensores que miden factores agrícolas, los cuales pueden visualizarse en una página web; el nodo en general consiste en dos sensores que miden humedad y temperatura del suelo, tres sensores de humedad de hojas, dos sensores de luminosidad, dos sensores integrados de temperatura y presión atmosférica y un sensor de humedad del ambiente.

Estos sensores se conectan a un microprocesador, mismo que se encarga de obtener los datos registrados y transmitirlos hacia un dispositivo de comunicación XBEE, esta comunicación envía la información y la guarda dentro de la raspberry PI 3; este elemento es el encargado de enviar los datos hacia la página web para su posterior visualización; el esquema general se puede observar en la figura 3.13.

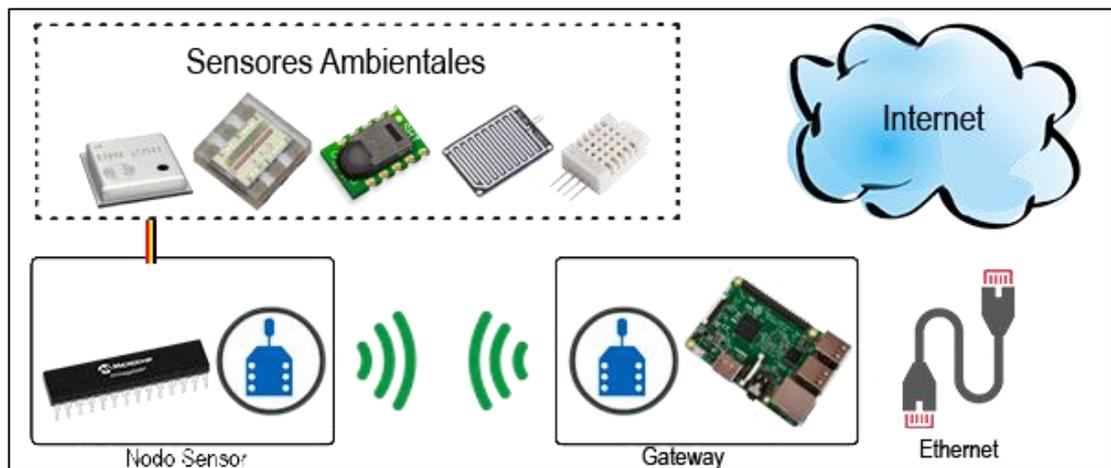


Figura 3.13 Diseño Global.

En la mayoría de los casos se utiliza más de un sensor para medir los distintos parámetros con el fin de generar redundancia en las medidas, además de comprobar el correcto funcionamiento de los sensores, pues si uno llegara a dañarse, se tendrá las medidas presentadas por el otro sensor; este caso aplica para los sensores de luminosidad, presión, altitud y temperatura ambiental. Para el sensor de humedad y temperatura del suelo, se usan dos con el fin de tomar datos a distintos niveles de profundidad; asimismo se cuenta con 3 sensores para humedad de las hojas con el fin de tomar datos a distintas alturas.

3.4 Diseño de circuitos electrónicos para lectura de sensores

3.4.1 Primer diseño electrónico

Para el primer diseño se utilizó los componentes electrónicos presentados en la tabla 3.1:

Tabla 3.1: Sensores primer diseño electrónico.

Cantidad	Componente	Utilidad
2	BMP280	Sensor de temperatura, altitud y presión
2	TSL2561	Sensor de luminosidad Ambiente
1	DHT22	Sensor de humedad Ambiente
3	FC-28	Sensor de humedad del suelo
3	YL-83	Sensor de humedad de las hojas
3	DS18B20	Sensor de temperatura del suelo
6	LM393	Comparador de voltaje
2	ADS1115	ADC 16 bits I2C

De este diseño destaca el uso de 6 LM393 como elementos comparadores que se encargan de traducir los valores de resistencia de los sensores YL-83 y FC-28 en valores de voltaje, los mismos que son leídos por 2 ADS1115, uno dedicado para cada parámetro. Dada la cantidad de sensores y elementos electrónicos a implementar resultó en un diseño de gran tamaño y que presentaba un consumo elevado de corriente. En la figura 3.14 se puede observar el los esquemas de dicho diseño.

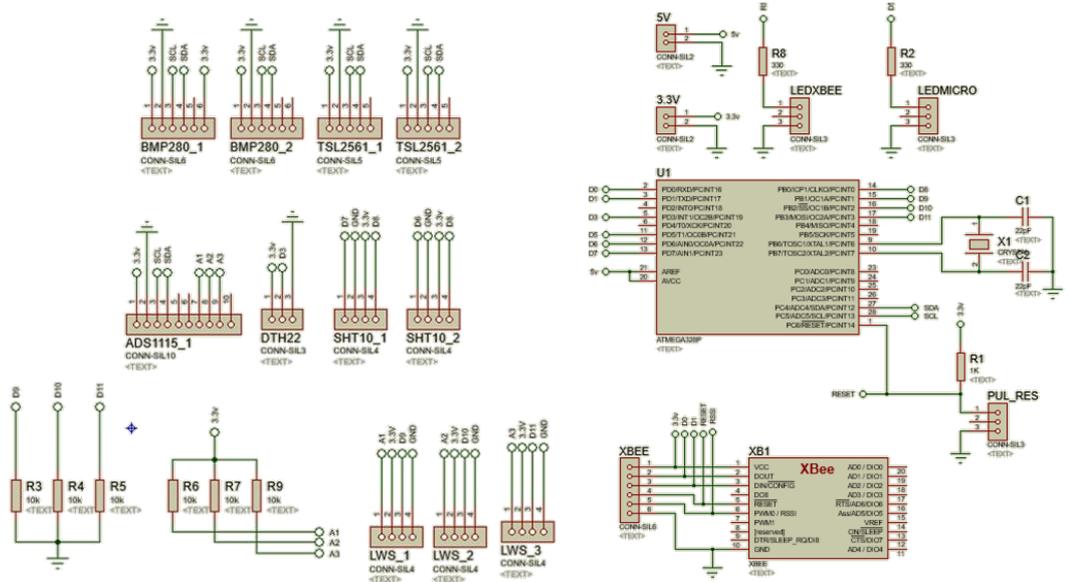


Figura 3.14: Prototipo 1

En la figura 3.15, se puede apreciar el diseño del PCB digital, este prototipo generó muchos errores en cuanto a lectura de sensores y consumo de corriente. Se requirió un rediseño completo de la placa para solventar los problemas mencionados.

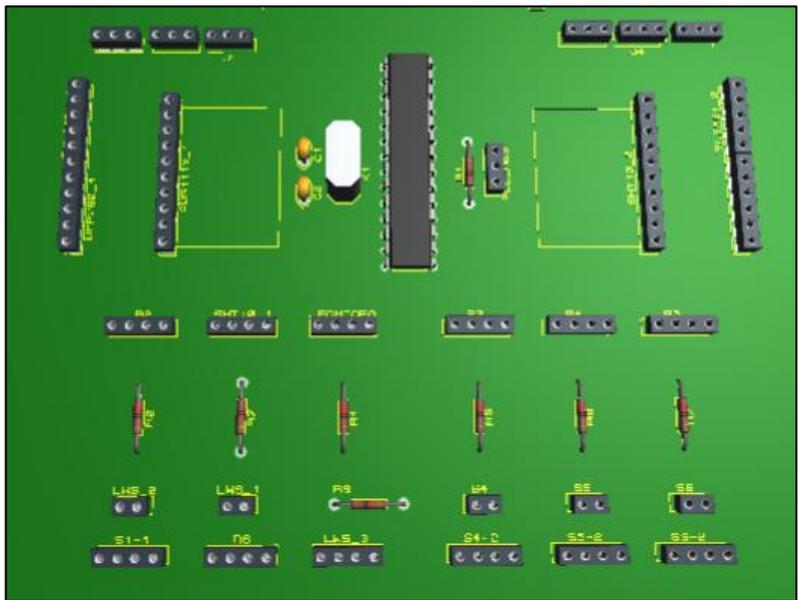


Figura 3.15 Prototipo 1 Placa Final

3.4.1.1 Errores presentados en el primer diseño electrónico

Los sensores de humedad FC-28 y de temperatura del suelo DS18B20; generan conflictos en la construcción de la tarjeta electrónica debido a su tamaño y poca eficiencia; además del uso excesivo de corriente que presentan sus componentes.

El sensor DS18B20 utiliza un protocolo denominado “1-wire”, este sistema de comunicación utiliza direcciones hexadecimales en cada sensor teniendo que guardar estos datos para el reconocimiento de cada sensor; es decir se asume complejidad del software para futuros mantenimientos y mejoras, por lo cual se decidió descartarlo.

Mientras tanto, el sensor de humedad FC-28, tiene como característica principal un sistema de medición basado en dos puntales conductores por los que circula una corriente eléctrica; los cuales al estar en contacto con la humedad del suelo producen un efecto llamado electrolisis, el mismo que corroe el cobre de los sensores produciendo contaminación en el suelo, por este motivo se prefirió desecharlo.

3.4.1.2 Segundo diseño electrónico

En la tabla 3.2 se puede observar la lista de componentes electrónicos utilizados en este diseño el cual se resulta más compacto y presenta un menor consumo al cambiar los dos sensores de humedad y temperatura del suelo por uno solo que realice la misma función, así como eliminamos los elementos de comparación LM393 del diseño anterior que presentaban un gran tamaño.

Tabla 3.2 Sensores del segundo diseño

Cantidad	Componente	Utilidad
2	BMP280	Sensor de temperatura, altitud y presión
2	TSL2561	Sensor de luminosidad Ambiente
1	DHT22	Sensor de humedad Ambiente
3	YL-83	Sensor de humedad de las hojas
3	DS18B20	Sensor de temperatura del suelo
2	SHT10	Sensor de humedad y temperatura del suelo
1	ADS1115	ADC 16 bits I2C

El sensor SHT10 específicamente es el dispositivo que permitió un mejor desarrollo del segundo prototipo, con mayor robustez, menor complejidad en la codificación y menor consumo que los sensores presentados en el primer diseño; también se realizó el cambio comparador LM393 que permitía la lectura de los sensores de hoja, esto se hizo debido a que este módulo generaba mucho consumo de corriente, se decidió reemplazarlo por un partidor de tensión a través de una resistencia de 10k Ω . La figura 3.16 representa la conexión de controladores y dispositivos de comunicación; este no presenta mayor cambio con respecto al primer diseño.

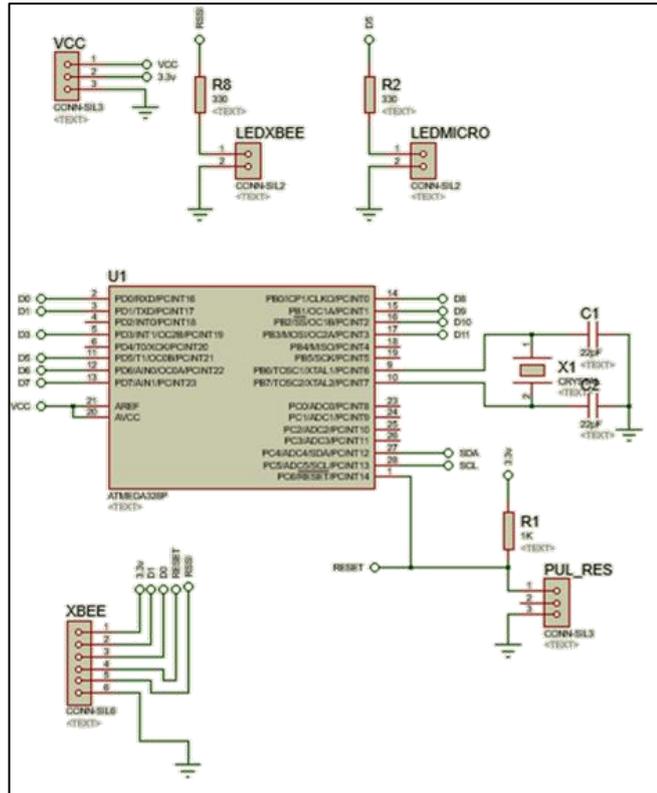


Figura 3.16 Prototipo 2 Microcontrolador y XBEE

En la figura 3.17, se puede observar el cambio de un solo sensor STH10, que reemplaza los prototipos electrónicos anteriores presentando un mejor desarrollo final de corrientes y menor tamaño electrónico.

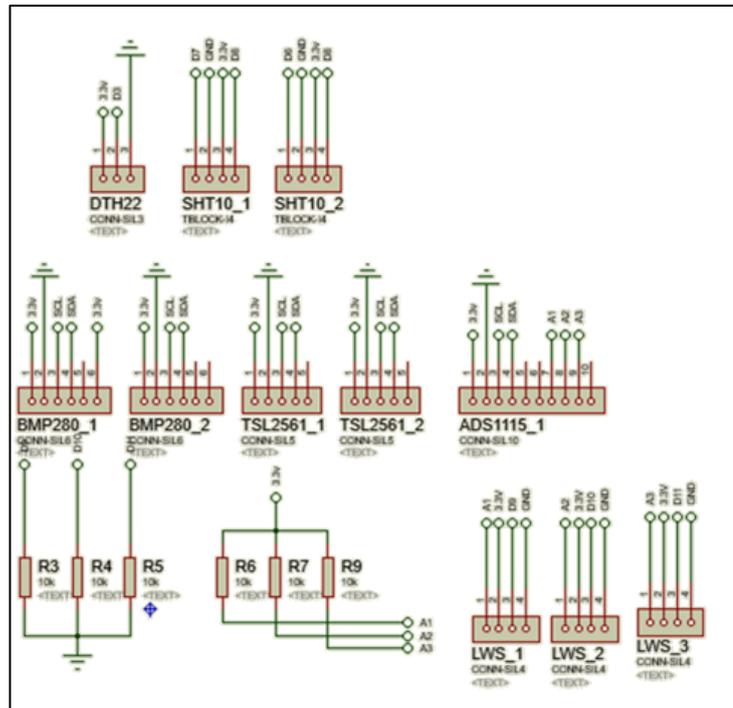


Figura 3.17 Prototipo 2 Sensores

En la figura 3.18 se observa el diseño digital del PCB para la lectura de sensores, la misma que tienen un menor tamaño en relación al primer diseño.

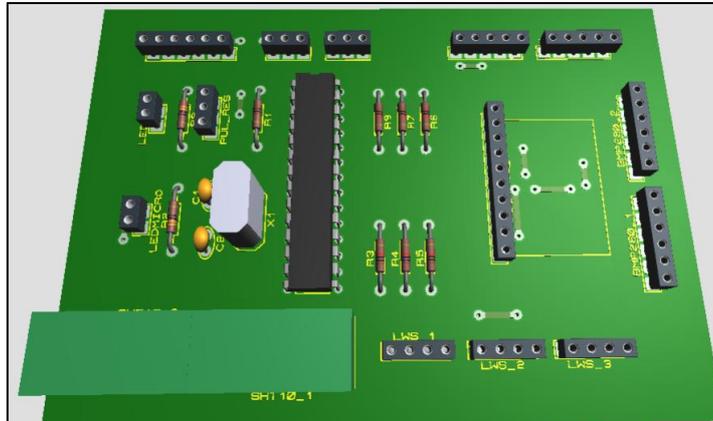


Figura 3.18 Prototipo 2 Placa Final

3.4.1.3 Conclusiones del segundo diseño electrónico

El segundo diseño no generó mayores inconvenientes; pues se solucionó todos los problemas presentados en el primer diseño, sin embargo las tarjetas resultantes seguían siendo de gran tamaño para la implementación final debido a la mala distribución de los elementos y el uso de demasiados puentes en el lado superior de la tarjeta, consideraciones que se tomaron en cuenta para el diseño final.

3.4.1.4 Diseño Final

El diseño final se presenta como un sistema desarrollado tras solventar los problemas mencionados anteriormente, este diseño tiene un tamaño óptimo y no presenta problemas de tamaño, ni de consumo de corriente. En la figura 3.19 se presenta el diseño final de la placa de lectura de sensores.

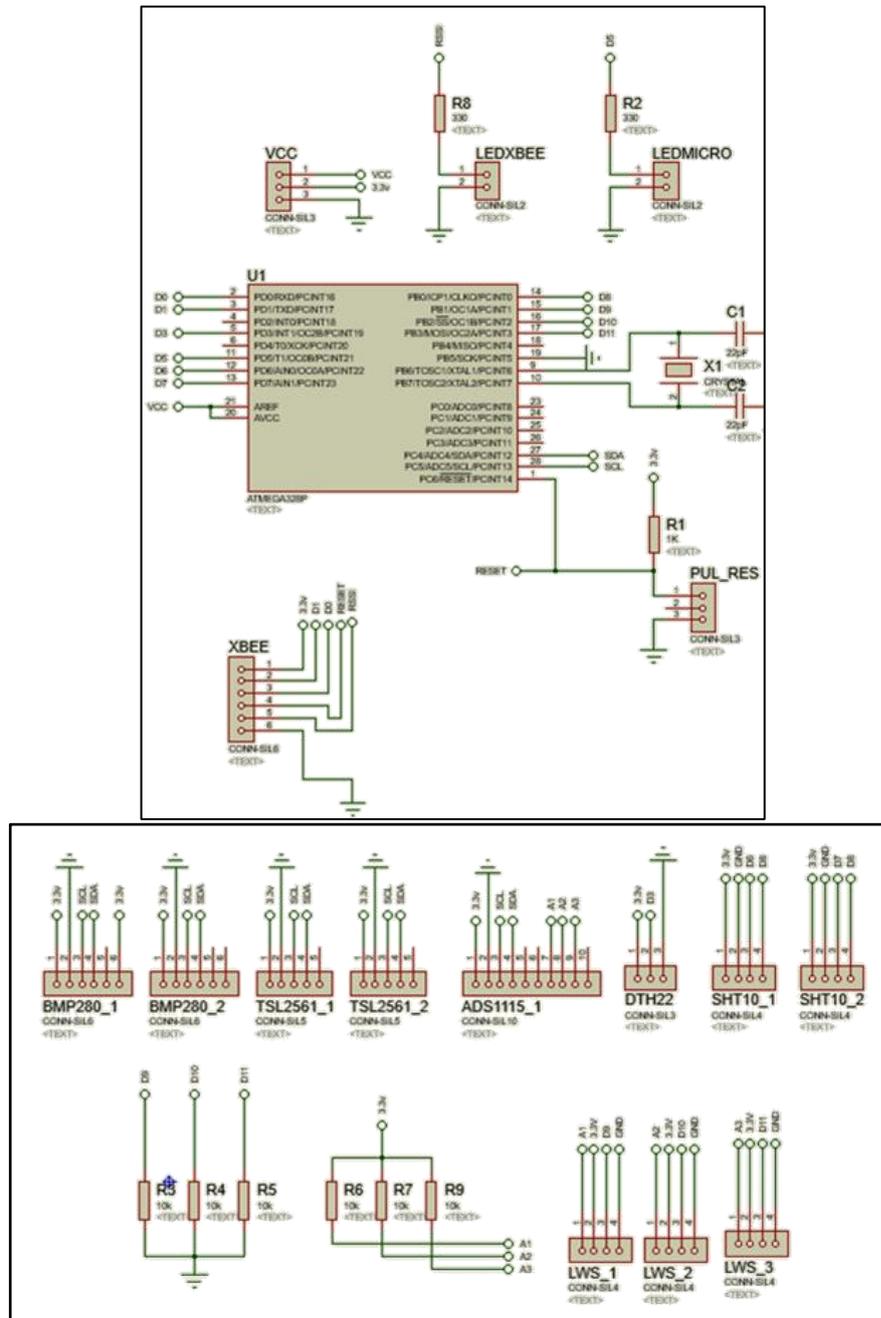


Figura 3.19 Diseño Final Sensores

En la figura 3.20 se observa el diseño final del PCB para la lectura de sensores, esta tarjeta presenta un menor tamaño y un consumo de corriente moderado.

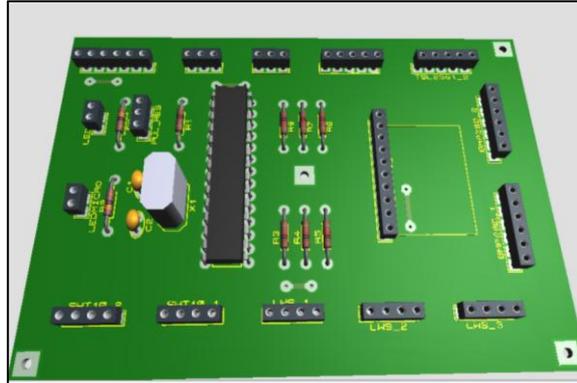


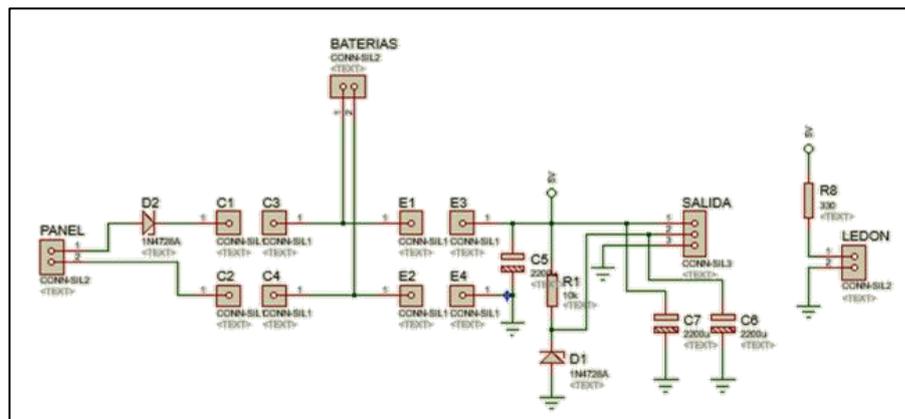
Figura 3.20 Diseño Final

3.4.2 Diseño de la Fuente

El diseño e implementación de la fuente requirió de dos diseños preliminares; como se mencionó anteriormente esta fuente depende de los voltajes generados entre el panel y las baterías; por ende, se realizó un prototipo inicial y un diseño final con las correcciones respectivas.

3.4.2.1 Fuente Diseño 1

Este prototipo consta de un elevador de 5 voltios a partir de los 3.7 voltios generados por las baterías; la necesidad de este voltaje es debido a la alimentación del microcontrolador; por otro parte los sensores requerían un voltaje de 3.3 para su funcionamiento, esto se logró a través de una resistencia y un diodo Zener, que era capaz de entregar dicho voltaje; también se agregó a las fuentes capacitores de alto valor para evitar el ruido que producían varios elementos; los esquemáticos de este diseño se presentan en las siguientes ilustraciones.



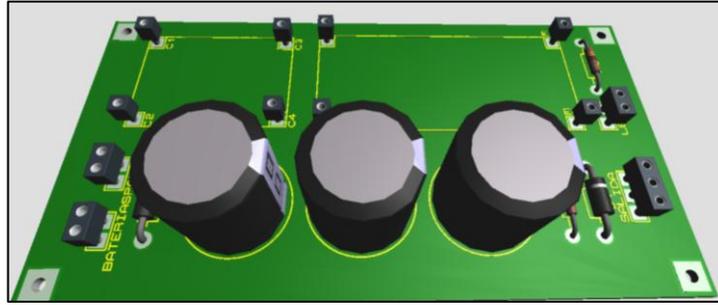


Figura 3.21 Prototipo 1 Fuente

3.4.2.2 Conclusiones del primer diseño de la fuente

El problema principal de este prototipo es el consumo de corriente excesivo por parte del regulador Zener a 3.3 voltios, teniendo un serio problema en la duración y trabajo de las baterías y panel solar.

3.4.2.3 Fuente Diseño Final

Con las consideraciones anteriores y problemas encontrados se recurrió a una solución en cuanto al consumo de corriente, debido a que el Zener como regulador produjo inconvenientes, se prefirió el uso de un regulador MP1584, este redujo el voltaje al requerido evitando el ruido y presentando un bajo consumo el diseño final se puede ver en las siguientes ilustraciones.

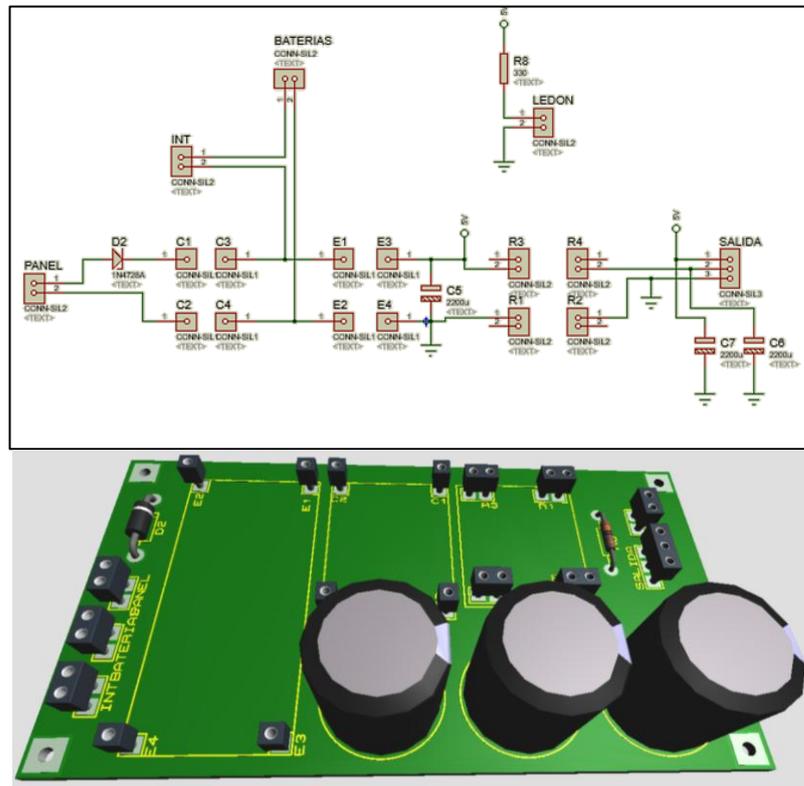


Figura 3.22 Fuente Final

3.5 Conclusiones

La implementación del hardware refleja varias etapas de desarrollo en los diferentes elementos que la componen, se realizaron varias mejoras conforme a las pruebas que sometidas a las placas implementadas.

La placa de lectura de sensores tuvo dos cambios importantes, en su primer diseño tuvo problemas pues presentaba un gran tamaño y excesivo consumo de corriente por los elementos que utilizaba, tras un rediseño y reducción en la cantidad de componentes electrónicos se solventaron estos problemas.

Los sensores de humedad del suelo FC-28 y temperatura del suelo DS18B20 se cambiaron por un sensor SHT10 que mide ambos parámetros y cuya implementación tanto a nivel de hardware como software es más sencilla, pues no utiliza complejas direcciones hexadecimales como el DS18B20 y al ser un sensor capacitivo no problemas de corrosión como el FC-28, asimismo al cambiar dos sensores por uno solo se presentó un menor consumo de corriente.

Otra consideración que se tomó fue la placa comparadora LM393, pues para el diseño final se decidió descartarla pues presentaba un gran consumo de corriente al utilizar varios elementos electrónicos que no se necesitaban en la implementación final. Se decidió reemplazarla por un partidor de tensión con una resistencia de 10k Ω .

En la construcción de la fuente se tuvo algunos inconvenientes debido al gran consumo presentaba el primer diseño pues utilizaba un diodo Zener y una resistencia de bajo valor, reemplazando estos componentes por un regulador de 3.3V se solucionó este problema.

Finalmente, como se puede observar el diseño de hardware se centra en que el sistema presente el menor consumo de corriente, esto es debido a que los nodos sensoriales deben ser autónomos para ello las baterías deben entregar energía el mayor tiempo posible, esto se consigue con un consumo de corriente menor.

4 CAPÍTULO IV: DISEÑO E IMPLMETACION DE SOFTWARE

Tras realizar el diseño del hardware se procedió a programar los distintos elementos de software que componen la red de sensores, entre ellos se encuentra el microcontrolador, encargado de leer la información de los sensores y enviarla de manera inalámbrica al Gateway el cual se encarga de almacenar estos parámetros en una base de datos; para realizar todas estas tareas se utiliza el lenguaje de programación C en el microprocesador, Python para programar la Raspberry y HTML, CSS y JavaScript para la creación la interfaz Web en la que se visualizará el contenido almacenado en la base de datos; dentro de estos contextos se procederá a describir la codificación necesaria para cada interfaz.

4.1 Funcionamiento del sistema

Para que el sistema realice las tareas citadas anteriormente, primero el microprocesador debe leer los parámetros ambientales a través de los sensores que se encuentran conectados a él; con todos estos datos se arma una trama la que se enviará inalámbricamente, un ejemplo de la trama se puede observar en la figura 4.1.

```
N001:20.62,75840.95,2459.82,20.86,75832.09,2459.55,3,3,57.30,0.00,0.00,0.00,NULL,NULL,NULL,NULL
N000:20.14,75870.92,2454.70,20.22,75814.78,2461.43,3,3,59.80,NULL,NULL,NULL,NULL,19.03,64.49
N002:20.02,75893.68,2452.85,19.72,75798.55,2462.90,4,4,50.80,NULL,NULL,NULL,NULL,NULL,NULL
```

Figura 4.1: Trama de la Red

La trama empieza con un código de identificación del nodo, seguido del signo dos puntos (:), después de ello se empieza a citar los valores de cada sensor separados por comas, los seis primeros datos corresponden a los dos sensores BMP280 que miden temperatura, altitud y presión. Los dos datos siguientes son tomados de los luxómetros, seguido de la humedad ambiente, luego se citan los valores de los tres sensores de humedad de las hojas y finalmente los últimos cuatro valores corresponden a los dos sensores SHT10 que miden humedad y temperatura de suelo.

Los sensores de humedad de las hojas y temperatura y humedad del suelo pueden desconectarse del equipo, este puede reconocer cuando esto pasa y envía el valor de NULL cuando uno de estos sensores se encuentra desconectado, como puede observarse en la figura 4.1.

Una vez armada la trama esta se envía inalámbricamente a través de un módulo de radiofrecuencia XBEE hacia la Raspberry que se encarga de decodificar esta trama y almacenarla en una base de datos local dentro del mismo equipo y en una global en los servidores de hostinger.com. Los datos mencionados anteriormente se pueden visualizar a través de una aplicación Web, subida al sitio sensornetworkuda.tech.

Los códigos de cada interfaz serán explicados en los siguientes puntos:

4.2 Código del Microcontrolador

Para realizar el código del microcontrolador se utilizó la plataforma Arduino ya que es software libre y existe mucha documentación en la web como librerías para leer los distintos sensores, aparte de ser un software muy amigable para realizar este tipo de prototipado.

Inicialmente se incluyen las librerías necesarias para la implementación del software, entre ellas se encuentra librerías especializadas para el armado de la trama, para configuración y lectura de los distintos sensores y periféricos; como la comunicación I2C y el Watchdog, como se puede observar en la figura 4.2.

```

1 //Incluir librerías para la lectura de sensores.
2 //Librerías para el código en C.
3 #include <stdint.h>
4 #include <Arduino.h>
5 //Librerías para la lectura de sensores
6 #include "SparkFunBME280.h"
7 #include <Adafruit_Sensor.h>
8 #include <Adafruit_TSL2561_U.h>
9 #include "Adafruit_ADS1015.h"
10 #include "DHT.h"
11 #include <sht1xalt.h>
12 //Librerías para los periféricos.
13 #include <Wire.h>
14 #include <avr/sleep.h>
15 #include <avr/power.h>
16 #include <avr/wdt.h>

```

Figura 4.2 Librerías del código en Arduino.

Posteriormente, el código configura los parámetros iniciales de cada sensor, tales como el voltaje de funcionamiento, el tipo de comunicación a implementar, la dirección que se va a usar, entre otros; también se configuran los pines del microcontrolador como entradas digitales y los parámetros de la comunicación serial para el Xbee; dentro de este contexto los sensores como el de luminosidad y de humedad del ambiente presentan datos erróneos en la primera lectura; por lo tanto, se procede hacer dicha lectura y descartarla; estos parámetros se observan en la ilustración 4.3.

```

57 void setup()
58 {
59   Serial.begin(115200);
60   ConfigBME();
61   ConfigTSL();
62   ConfigADS();
63   ConfigDHT();
64   ConfigSHT(SHT1);
65   ConfigSHT(SHT2);
66   for (int pin=9; pin <= 11; pin++) pinMode(pin, INPUT);
67   ReadSensors();
68 }

```

Figura 4.3 Configuraciones Iniciales.

Entre las funciones principales de la codificación, se encuentran las rutinas o funciones “myWatchdogEnable” y “ReadSensors”; dentro de la función myWatchdogEnable se configura el Watchdog del microcontrolador, para tener el control de los datos y que estos se envíen en un periodo de un minuto, para ello recibe un byte de datos que le indica el tiempo en que el controlador se encuentra en modo “Sleep” como se ve en la ilustración 4.4; estos valores se obtienen de la figura 4.5, en los cuales se destacan los valores de bytes que producen un retardo de 4 y 8 segundos en el microcontrolador.

```

81 void myWatchdogEnable(const byte interval)
82 {
83   MCUSR = 0; // reset various flags
84   WDTCSR |= 0b00011000; // see docs, set WDCE, WDE
85   WDTCSR = 0b01000000 | interval; // set WDIE, and appropriate delay
86
87   wdt_reset();
88   set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
89   sleep_mode(); // now goes to Sleep and waits for the interrupt
90 }

```

Figura 4.4 Función myWatchdogEnable

WDP3	WDP2	WDP1	WDP0	Number of WDT Oscillator Cycles	Typical Time-out at V _{CC} = 5.0V
0	0	0	0	2K (2048) cycles	16 ms
0	0	0	1	4K (4096) cycles	32 ms
0	0	1	0	8K (8192) cycles	64 ms
0	0	1	1	16K (16384) cycles	0.125 s
0	1	0	0	32K (32768) cycles	0.25 s
0	1	0	1	64K (65536) cycles	0.5 s
0	1	1	0	128K (131072) cycles	1.0 s
0	1	1	1	256K (262144) cycles	2.0 s
1	0	0	0	512K (524288) cycles	4.0 s
1	0	0	1	1024K (1048576) cycles	8.0 s
1	0	1	0	Reserved	
1	0	1	1		
1	1	0	0		
1	1	0	1		
1	1	1	0		
1	1	1	1		

Figura 4.5 Valores de configuración del Watchdog Fuente: Datasheet ATMEGA328P

Como se observa en la figura 4.6, la función ReadSensors, es la que se encarga de armar la trama que va ser enviada por el puerto serie, para ello se requiere de la función “printf” para almacenar los datos en la variable enviar, llamando a las funciones de lectura de cada sensor las cuales retornan un apuntador con los valores de los distintos parametros medidos.

```

92
93 void ReadSensors()
94 {
95     sprintf(enviar, "%s,%s", ID, ReadBME (BME1));
96     sprintf(enviar, "%s,%s", enviar, ReadBME (BME2));
97     sprintf(enviar, "%s,%s", enviar, ReadTSL (TSL1));
98     sprintf(enviar, "%s,%s", enviar, ReadTSL (TSL2));
99     sprintf(enviar, "%s,%s", enviar, ReadDHT (dht));
100    sprintf(enviar, "%s,%s", enviar, ReadLeafHumidity (ADC1, 2));
101    sprintf(enviar, "%s,%s", enviar, ReadSHT (SHT1));
102    sprintf(enviar, "%s,%s", enviar, ReadSHT (SHT2));
103 }

```

Figura 4.6 Funcion ReadSensors

La función loop presentada en la figura 4.7, utiliza la función ReadSensors para realizar una lectura de los sensores; posteriormente envia la trama por el puerto serie, para que esta asu vez se enviada inalámbricamente. Llama a través de un bucle for, por siete veces a la función myWatchdogEnable para que el microcontrolador mantega el modo sleep por 8 segundos y llama una vez myWatchdogEnable para que el microcontrolador realice la misma tarea con un retardo de 4 segundos, por lo tanto completando un ciclo completo de 1 minuto.

```

69
70 void loop()
71 {
72     digitalWrite(5, toggle);
73     ReadSensors();
74     Serial.println(enviar);
75     toggle = !toggle;
76     delay(100);
77     for (int i = 0; i<7; i++) myWatchdogEnable (0b100001);
78     myWatchdogEnable (0b100000);
79 }

```

Figura 4.7 Funcion Loop.

4.3 Código de la Raspberry

Antes de la explicación del código correspondiente a la Raspberry, se requieren realizar varias configuraciones iniciales; comenzando por la instalación de un sistema operativo, se utiliza en este caso el sistema “Raspbian”; este sistema operativo es propiamente usado en el dispositivo Raspberry.

Posteriormente y debido a la necesidad de una base de datos y una página web, se instala LAMP, sus siglas significan Linux, Apache, MySQL y PHP; es un grupo de programas de código libre y es usado para la implementación de servidores con el fin de alojar sitios y aplicaciones Web.

Una vez instalado el paquete LAMP, se procede a crear la base de datos necesaria para la implementación de la red de sensores. Dentro de la base de datos se crean las tablas necesarias para cada nodo de sensores, que se estructuran como se indica en la figura 4.8; cada tabla tiene el mismo nombre de la ID del nodo y guardan 18 datos, los cuales son una ID, fecha y hora en la que se tomó el dato y los 16 datos que corresponden a los parámetros que sensa cada nodo.

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
ID	int(11)	NO	PRI	NULL	auto_increment
dateTima	datetime	YES		NULL	
BMP1_altitud	float	YES		NULL	
BMP1_presion	float	YES		NULL	
BMP1_temperatura	float	YES		NULL	
BMP2_altitud	float	YES		NULL	
BMP2_presion	float	YES		NULL	
BMP2_temperatura	float	YES		NULL	
TSL1	float	YES		NULL	
TSL2	float	YES		NULL	
DTH	float	YES		NULL	
Leaf1	float	YES		NULL	
Leaf2	float	YES		NULL	
Leaf3	float	YES		NULL	
Soil1	float	YES		NULL	
Soil2	float	YES		NULL	
TSoil1	float	YES		NULL	
TSoil2	float	YES		NULL	

Figura 4.8 Estructura de la Tabla de los datos del nodo.

En la figura 4.9, se muestra la implementación de una tabla donde se alojan la información de los usuarios registrados, la que se utilizará posteriormente para validar el ingreso del sistema.

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
ID	int(11)	NO	PRI	NULL	auto_increment
user	varchar(50)	YES		NULL	
password	varchar(200)	YES		NULL	

Figura 4.9 Tabla de usuarios registrados

Tras la implementación del paquete LAMP con todos los programas que vienen en este paquete se necesita un script de Python el cual es encargado de leer de la información que proviene del puerto serial, la decodifica y la sube a la base de datos. A continuación, se detalla el código realizado en la figura 4.10.

Primero se llaman a las bibliotecas necesarias para la implementación del código que son serial, la que nos permite leer el puerto serie y MySQLdb biblioteca necesaria para realizar consultas a bases de datos desde Python. Tras esto se crean el objeto de la comunicación serie llamado ser y se le entregan como parámetros las configuraciones de la comunicación serial en este caso lo más importante es el puerto y los baudios.

```

1  import serial
2  import MySQLdb
3
4  ser = serial.Serial(
5      port='/dev/ttyUSB0',
6      baudrate = 115200,
7      parity=serial.PARITY_NONE,
8      stopbits=serial.STOPBITS_ONE,
9      bytesize=serial.EIGHTBITS,
10     timeout=1
11 )

```

Figura 4.10 Parámetros iniciales del código en Python.

Se implementa el script de Python para el almacenamiento de datos, para ello se recibe la trama por el puerto serie y se eliminan los espacios en blanco que esta pudiera tener, se realiza un método de separación Split y como identificador se coloca el signo de dos puntos (:) de esta manera la trama se divide y se obtiene la ID del nodo y los valores de los sensores, los mismos que se van a subir a la base de datos utilizando el método execute pasándole como parámetro el query a ejecutarse. Utilizamos un método de detección de errores try y catch por si la trama presenta problemas al momento de subirse a la base de datos. Toda esta implementación se puede observar en la figura 4.11.

```

while 1:
    if ser.in_waiting:
        Trama = ser.readline().replace('\n', '').replace(' ', '')
        if (len(Trama.split(':'))==2): DataBase,Query = Trama.split(':')
        else: continue
        statement = """INSERT INTO """ +DataBase+ """ (dateTime, BMP1_temperatura, BMP1_presion, BMP1_altitud,
        BMP2_temperatura, BMP2_presion, BMP2_altitud, TSL1, TSL2, DTH, Leaf1, Leaf2, Leaf3, TSoil1,
        Soil1, TSoil2, Soil2) VALUES (CURRENT_TIMESTAMP(), """+Query+""")"""
        try:
            cur.execute(statement)
            db.commit()
            print("DataBase committed")
        except Exception as e:
            print Trama
            print("Rolling back")
            print(e)
            db.rollback()

```

Figura 4.11 Almacenamiento en la base de datos.

4.4 Implementación de la página Web

Ahora bien, tras haber realizado las configuraciones iniciales y creadas las respectivas tablas se procedió a construir la interfaz web la cual se encargará de visualizar los parámetros guardados en la base de datos.

Como el primer paso dentro de la interfaz, se presenta una ventana de ingreso en donde se debe llenar los campos de usuario y contraseña, como se ve en la figura 4.12; en caso de que el usuario todavía no haya sido registrado, se puede crear una cuenta, para ello se debe ingresar en el link de “Regístrate”; el cual le redirigirá a un formulario para crear una cuenta nueva.

The image shows two side-by-side web forms. The left form is titled "Iniciar Sesión" and contains two input fields: "Usuario:" and "Contraseña:". Below these fields is a green button labeled "INICIAR SESION". At the bottom of the form, there is a link that says "¿Aún no tienes cuenta? [Regístrate](#)". The right form is titled "Regístrate" and contains three input fields: "Usuario:", "Contraseña:", and "Repetir contraseña:". Below these fields is a green button labeled "REGISTRARSE". At the bottom of the form, there is a link that says "¿Ya tienes cuenta? [Iniciar sesion](#)".

Figura 4.12 Enlace de Inicio de Sesión y de Registro.

Luego del ingreso al sistema, se presenta una página de inicio como se ve en la figura 4.13; la que tiene como función mostrarnos los datos históricos almacenados en la base de datos para ello nos pide que ingresemos los datos del nodo y el parámetro que deseamos visualizar y el intervalo de fechas; tras aplastar el botón consultar se visualizará una tabla con los datos de los sensores y los gráficos con las curvas dibujadas como se visualiza en la figura 4.14.

The screenshot shows the top section of a web application. At the top left, it says 'SIDAD JAY'. Below this, there are four input fields: 'Nodo:' with a dropdown menu showing 'N000', 'Parámetro:' with a dropdown menu showing 'Temperatura Ambie', 'Desde:' with a text box containing '2018/08/07 22:22', and 'Hasta:' with a text box containing '2018/08/05 22:22'. To the right of these fields is a blue button labeled 'CONSULTAR'.

Figura 4.13 Pantalla Inicial.

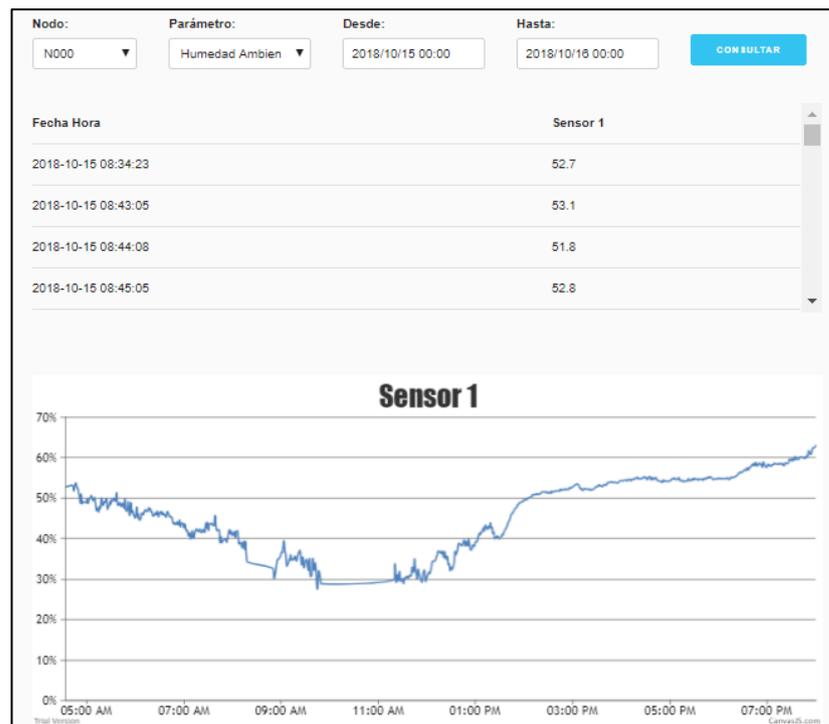


Figura 4.14 Consulta de los datos almacenados

Como otra de las opciones que contiene la página web, se puede consultar los datos en tiempo real; como se observa en la figura 4.15; de la misma manera se escoge el nodo a consultar, y se presenta una ventana con medidores que no indican el último valor guardado en la base de datos, se utiliza un script en AJAX el cual refresca los medidores aproximadamente cada minuto.

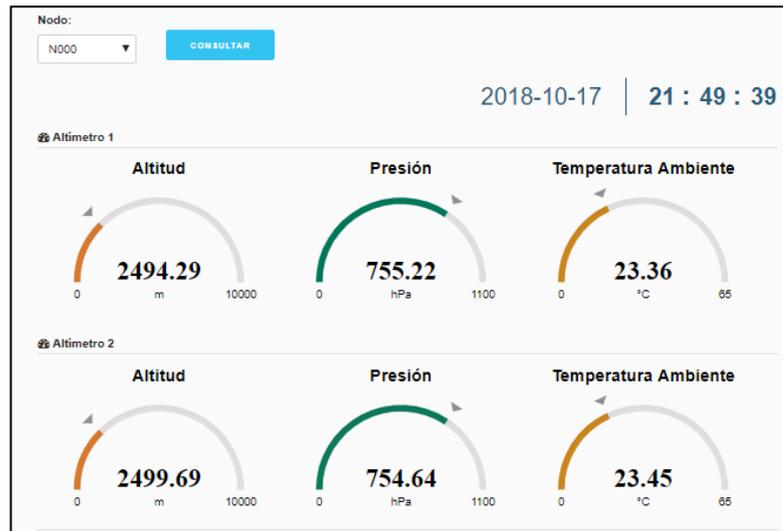


Figura 4.15 Consulta en tiempo real

Se puede navegar entre estas opciones utilizando un menú el cual se encuentra en la parte lateral izquierda, mismo que puede observarse en la figura 4.16, así también existe un botón de cierre de sesión.



Figura 4.16: Menú lateral y cierre de sesión.

4.5 Codificación de la página Web

Para realizar las tareas antes programadas en el servidor se utilizaron distintos recursos, los cuales refieren a estilos y elementos de visualización de datos.

4.5.1 Skeleton

Skeleton es un paquete de estilos para CCS, en donde vienen programados distintos estilos para botones, formularios y tablas; este paquete nos permita hacer diseño “Responsive” o adaptativo lo que permite que los elementos Web se adapten al ancho de cada dispositivo, de esta manera se consigue una mejor visualización sin importar el dispositivo en el cual se requiera el ingreso, como se puede observar en la figura 4.17.

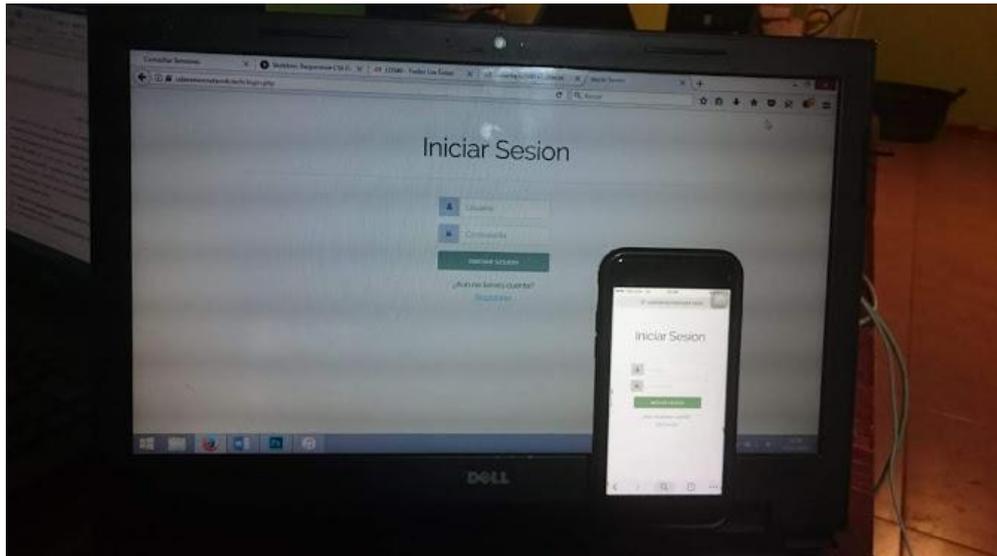


Figura 4.17 Implementación Responsive.

4.5.2 CanvasJS

CanvasJS es un plugin programado en JavaScript, su funcionalidad es dibujar cuadros y curvas; dentro de la implementación sirve para las curvas necesarias para visualizar distintos puntos en la base de datos; en la figura 4.18 se puede observar la curva del sensor de luminosidad.

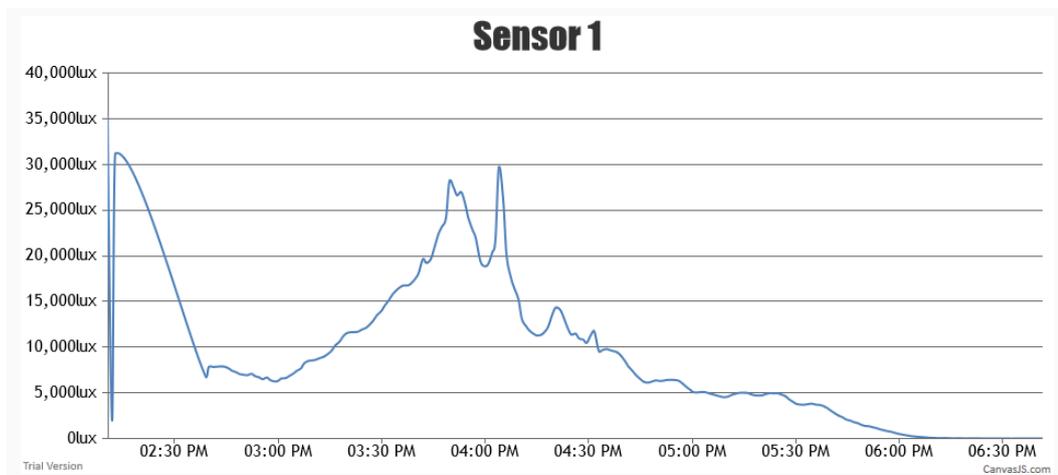


Figura 4.18 Logo CanvasJS.

4.5.3 JustGage y Ajax

JustGage es un plugin de JavaScript, que sirve para generar medidores, basado en librerías de dibujo de vectores; este plugin nos sirve en la implementación de la página web para la visualización de los parámetros en tiempo real; este a su vez posee varios estilos y configuraciones para el gusto del usuario

Ajax es una técnica de desarrollo web, dentro del uso hacia la aplicación esta técnica consulta los datos de la base de datos en segundo plano y los actualiza, sin interferir con la visualización de la página.

Estas herramientas son utilizadas en la pantalla de tiempo real. Su implementación se puede observar en la figura 4.19.

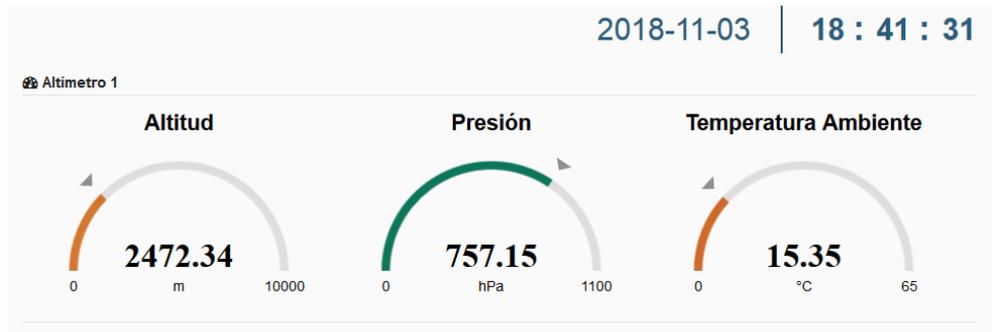


Figura 4.19: Medidores de JustGage.

4.5.4 Hostinger

Entre los recursos más importantes que se utilizaron para este trabajo se encuentra hostinger.com la cual es una plataforma que nos permite alojar sitios Web y posee una amplia variedad de herramientas como servicios de FTP y de base de datos que nos ayudan a la gestión de la página. Utilizando esta herramienta creamos el dominio udasensornetwork.tech en el que esta almacenado toda la interfaz de la página web y se puede acceder desde cualquier dispositivo con acceso a internet.

Este fue un punto importante en la implementación de este trabajo, pues al ser un sistema IoT se desea tener acceso a la información que este almacena desde cualquier sitio del mundo y es lo que esta herramienta nos permite. Adicional a esto se tuvo que cambiar el script del almacenamiento de bases de dato para que este almacene la información tanto en la base de datos local como la global.

4.6 Conclusiones

El sistema que se implementó en el desarrollo de este trabajo tiene un componente software bastante amplio pues se utilizaron varios lenguajes y recursos de programación que permite que los distintos dispositivos utilizados se comuniquen entre si cumpliendo la tarea de lectura, almacenamiento y visualización de datos.

El funcionamiento del software se basa esencialmente en leer los datos de los sensores que están conectados al microcontrolador y armar la trama que se enviará inalámbricamente hacia la Raspberry, esta la recibe, la decodifica y almacena los parámetros en una base de datos local, dentro de la Raspberry y global en los servidores de hostinger.com, en estos servidores también se aloja un sitio web que tiene la función de visualizar los datos almacenados.

Como un punto importante a recalcar es el uso de dos bases de datos, una local almacenada en la Raspberry que funciona como el Gateway de nuestra red de sensores y una global almacenada en hostinger.com, se tiene pensado que como una mejora al sistema hacer que estas bases de datos sean sincronizadas, es decir que los valores que se encuentran en la base de datos local sean los mismos que están en la base de datos global, pues así tendríamos menos pérdidas por problemas de conexión de red.

5 CAPITULO V: IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS FINALES

5.1 Introducción

Después de armar el hardware y haber programado los distintos elementos de software se procede a la implementación final del proyecto, tema del que trata el presente capítulo, se hablará de la construcción de la estructura de cada nodo indicando los elementos de hardware que lo componen, así también se dará una introducción de los equipos de la marca Libelium mismos que se utilizaron como patrón para cotejar las medidas de cada nodo y presentaremos los resultados de las pruebas, reflejados en cuadros estadísticos y cálculo de errores.

5.2 Estructura del nodo

El diseño de la estructura del nodo tuvo varias fases en su construcción; estas fueron cambiando de acuerdo a necesidades como: ubicación de placas electrónicas, tamaño del panel, espacios para sensores de humedad y temperatura ambiental, entre otras consideraciones.

Se optó por utilizar acrílico para la construcción del nodo porque es un material que no reacciona a la corrosión; es decir, al ser equipos que se encuentran al aire libre y debido al cambio de los factores climáticos, este material no se verá afectado por exceso de agua o temperaturas elevadas.

5.2.1 Diseño gráfico del nodo

En la figura 5.1 se puede apreciar el diseño digital del nodo, para realizar este bosquejo se tomó en cuenta varios aspectos como: cableado interno, sellado de los nodos con el fin de evitar filtraciones de agua, ubicación de interruptores y conectores; además de un sistema de sujeción.

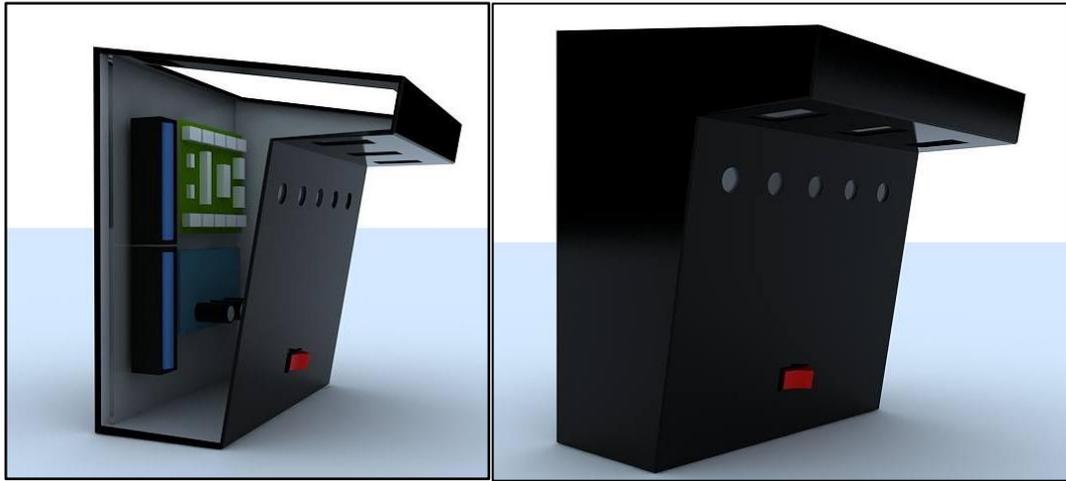


Figura 5.1: Prototipo grafico del nodo

5.2.2 Planos del nodo.

Los planos del nodo se presentan en este punto; este diseño fue implementado en AutoCAD, en las siguientes figuras se muestran la cara lateral y la cara posterior donde se acotan las medidas necesarias para su construcción.

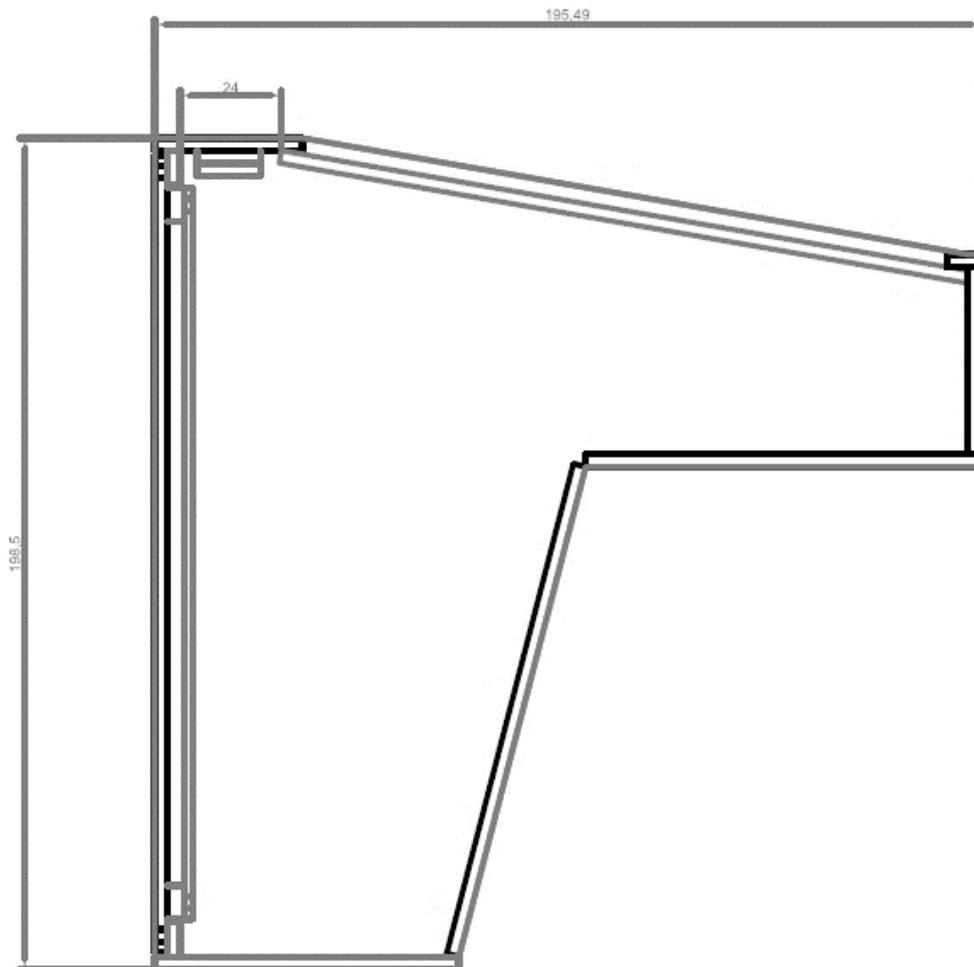


Figura 5.2: Plano Lateral

Como se ve en la figura 5.2; el plano lateral nos muestra una inclinación en la parte superior la misma que es necesaria para evitar la concentración de agua en caso de lluvias; en la figura 5.3 mientras tanto se puede observar la parte posterior del nodo donde se denota la colocación de tarjetas y componentes electrónicos necesarios para la fabricación del nodo.

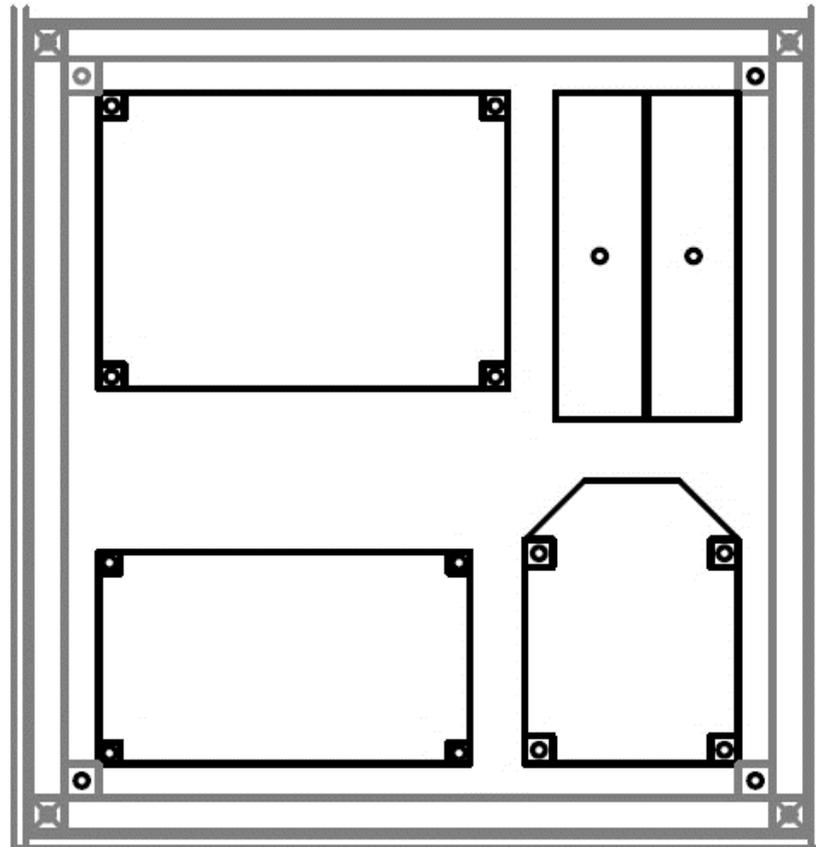


Figura 5.3: Plano Posterior

5.2.3 Construcción e implementación final

Una vez diseñados los planos, se procedió a su armado, primero se realizó un prototipo inicial, este sirvió para comprobar que las medidas fueran las correctas y el que nos ayudó a corregir problemas de diseño, principalmente la colocación de componentes. Tras estas pruebas se procedió a armar los tres nodos que definen a la red; en la figura 5.4 se muestra la estructura terminada.



Figura 5.4 Equipo Final construido

En la parte posterior del equipo se colocaron las tarjetas electrónicas realizadas, dispuestas como se indica en la figura 5.5, como se puede observar en dicha figura se utilizan tres placas, la fuente sirve para regular el voltaje del panel solar y entrega la alimentación necesaria a todo el sistema, la placa de lectura de sensores recibirá los datos de los sensores conectados a ella y la enviará al módulo de comunicación Xbee para su posterior envío de manera inalámbrica.

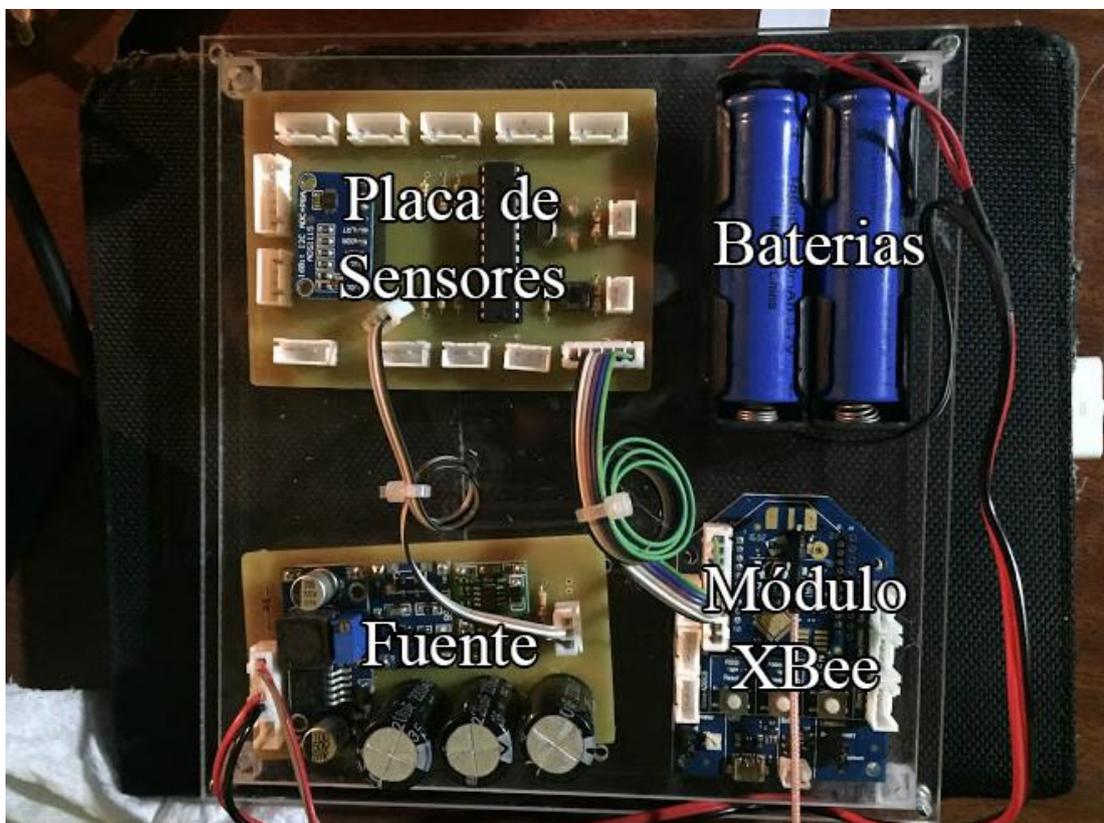


Figura 5.5: Disposición de placas y elementos.

5.2.4 Sistemas de medición utilizados.

Como ya se mencionó cada nodo que compone la red tiene la capacidad de medir temperatura y humedad ambiental; presión, altitud, luz ambiente, humedad y temperatura del suelo y humedad de las hojas, es fundamental que todas estas medidas sean verificadas; por lo tanto, se las comparó con otros equipos o sistemas de medida.

Para verificar que los datos medidos de cada sensor sean correctos se los comparó con distintos equipos de medición, con el fin de obtener gráficas que indiquen el comportamiento de los parámetros y cuadros estadísticos donde se indiquen los errores. Los equipos utilizados para realizar esta tarea son el paquete “Smart Agriculture 3 de Libelium”, un luxómetro y equipos para medir parámetros agrícolas de bajo coste.

5.2.4.1 Paquete Smart Agriculture 3 de Libelium

Libelium es una empresa española dedicada al desarrollo de proyectos centrados en Internet de las Cosas (IoT) por ello tiene en el mercado paquetes de redes inalámbricas de sensores para medir distintos tipos de parámetros para varias aplicaciones como son: calidad del agua, calidad del aire, agricultura de precisión, entre otros.



Figura 5.6: Paquete Smart Agriculture 3 de Libelium.

Se utilizó el paquete Smart Agriculture 3.0, el mismo que se puede observar en la figura 5.6; dentro de este paquete se encuentran incluidos dos nodos sensoriales y el Gateway de la red, denominado Meshlium.

Cada nodo sensorial de Libelium tiene la capacidad de medir presión, humedad ambiente, temperatura, humedad en las hojas y en el suelo y temperatura del suelo. En la tabla 5.1 se indican los parámetros de medición del proyecto, así como los sensores que se utilizan para medirlos, se indica también los sensores en común que posee el sistema Smart Agriculture 3 de Libelium, comparando con el sistema implementado.

Tabla 5.1 Comparación de sensores

Parámetro	Sensor Libelium	Sensor Tesis
Altitud	No posee	BMP280
Presión	BME280	BMP280
Temperatura Ambiente	BME280	BMP280
Temperatura Suelo	PT100	SHT10
Luminosidad	No incluido	TSL2561
Humedad Ambiente	BME280	DHT22
Humedad del Suelo	Watermark	SHT10
Humedad de las Hojas	MH-RD	YL-83

Como se puede apreciar en la tabla 5.1 este kit de sensores mide la mayoría de parámetros del equipo a implementar, sin embargo, los equipos utilizan distintos tipos de sensores para realizar estas mediciones por ello es razonable que existan diferencias en las mediciones de cada parámetro.

5.2.4.2 Luxómetro YF-172

En la tabla 5.1 se pudo observar que el paquete Smart Agriculture no viene con el sensor de luminosidad, por ello se optó por utilizar un luxómetro para realizar la verificación del equipo. Este equipo nos permite medir de manera simple y sencilla la iluminación natural de un ambiente a través de una célula fotoeléctrica que es capaz de captar la iluminación ambiental y convertirla en señales eléctricas que son interpretadas por el medidor y visualizadas en un display, una ilustración de este equipo puede observarse en la figura 5.7.



Figura 5.7 Luxómetro YF-172

5.2.4.3 Sistemas de medición de parámetros ambientales de bajo coste.

Al querer implementar un sistema de medición de bajo coste este equipo también se comparó con dos medidores que se encuentran en el mercado, los que se pueden apreciar en la figura 5.8, dichos dispositivos sirven para medir la iluminación del ambiente, la humedad, ph del suelo, y temperatura ambiente.



Figura 5.8: Medidores de bajo coste.

5.3 Pruebas realizadas

5.3.1 Pruebas y comparaciones entre equipos y sensores

El prototipo en general presenta medidas distintas entre los sensores implementados; es decir las mediciones tomadas de temperatura, humedad ambiental y del suelo, presión ambiental, humedad de las hojas y luminosidad; deben ser verificadas como correctas o relativamente similares a las medidas reales dentro del ambiente.

Los sensores dentro del nodo tienen sus rangos de error y para verificar que estos valores estén dentro de las especificaciones recaladas, se requiere realizar comparaciones con otros sistemas de medida, como parte de la validación en estas pruebas se hizo uso de los sistemas Libelium, siendo estos equipos la referencia durante la mayoría de las pruebas de este capítulo.

Como se observa en la figura 5.9 se colocaron los tres nodos en áreas verdes alrededor del campus de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay a fin de tomar datos del ambiente y suelo. En los nodos 000 y 001 se colocaron los equipos

de medición Libelium con el objetivo de que midieran los mismos parámetros ambientales para su comparación, el nodo 002 nos ayudó a verificar el correcto funcionamiento de la página web.



Figura 5.9 Nodos y distribución

Las pruebas de funcionamiento del proyecto se realizaron desde el día 15 de octubre a las 07H00 y concluyeron el día 18 de octubre a las 19H00, durante las pruebas se corrigieron distintos problemas que surgieron en el almacenamiento de datos, por ello existen grandes saltos de tiempo entre las medidas tomadas. Para realizar los cálculos de error de los sensores se tomaron los datos que presentaban las menores interrupciones de tiempo a fin de tener una lectura continua de los parámetros ambientales.

El nodo 000 tomó 2241 datos desde 15/10/2018 08h34 hasta 17/10/2018 21h49 de los cuales se tomaron 144 datos por un intervalo de tiempo desde 17/10/2018 07h42 hasta 18/10/2018 19h27, de igual manera el nodo 001 tomó un total de 1191 datos desde 16/10/2018 20h28 hasta 17/10/2018 12h15 del cual se tomaron 60 datos para cálculo de errores. En estos intervalos de tiempo el equipo funcionó de manera estable y correcta; para el cálculo se ve reducida la cantidad de datos esto es porque el equipo Libelium almacena sus datos cada 15 minutos mientras que el equipo implementado los almacena cada minuto.

Con los valores medidos se pueden calcular los distintos errores de los sensores, entre ellos destacamos los errores relativos porcentuales (ER), un error cuadrático medio (ECM) y la raíz del error cuadrático medio (RECM); estos nos sirven como una guía general del estado de las mediciones con respecto a un equipo de referencia. Las fórmulas utilizadas para el cálculo se presentan a continuación.

$$\text{Error relativo} = \text{ER} = \frac{\sum_{t=1}^n |VL - VN|}{n} * 100\% \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Error cuadrático medio} = \text{ECM} = \frac{\sum_{t=1}^n |VL - VN|^2}{n} \quad \text{Ecuación 2}$$

Raíz del error cuadrático medio =

$$\text{RECM} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n |VL - VN|^2}{n}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\text{Corrección de error relativo} = \text{ERC} = \frac{\sum_{t=1}^n |VL - ER|}{n} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde n es número de muestras, VL es valor real o valor de Libelium y VN valor medido del nodo.

Dentro de los valores de error presentados en el nodo 000 se realizó dos cálculos uno con 144 datos tomados entre el 17/10/2018 07:42 hasta 18/10/2018 19:27 que nos sirve para comparar el sistema con el equipo de referencia y otro con 60 datos tomados desde 16/10/2018 20:27 hasta 17/10/2018 12:12 en el mismo intervalo que el nodo 001 para realizar una comparación de errores entre los dos nodos.

5.3.1.1 Sensor Humedad Ambiental

En el primer dato que se compara es la humedad ambiental; en la tabla 5.2, se presentan los datos tomados del nodo 000 desde 17/10/2018 07h42 hasta 18/10/2018 19h27 para las pruebas finales.

Tabla 5.2 Cuadro comparativo de la Humedad Ambiental entregado por el Nodo 000.

Fecha y Hora	HUMEDAD (Nodo Referencia)	HUMEDAD (Nodo Implementado)	Error Relativa	Diferencia Cuadrático
2018-10-17 07:42	67,22	72,90	0,08455029	32,29876224
2018-10-17 07:57	61,44	58,40	0,04948582	9,244214585
2018-10-17 08:12	52,00	45,30	0,12878071	44,83767486
2018-10-17 08:27	45,31	38,30	0,15470396	49,13407158
2018-10-17 08:42	41,96	36,9	0,12050835	25,56369216
2018-10-17 08:57	38,19	31,60	0,17246177	43,36942929
2018-10-17 09:12	40,93	29,60	0,27684305	128,4060651
2018-10-17 09:27	42,57	37,10	0,12856061	29,95637799
2018-10-17 09:42	37,75	39,40	0,04365462	2,716058914
2018-10-17 09:57	35,97	34,20	0,04927787	3,142309294
2018-10-17 10:12	32,05	33,60	0,04824059	2,391012764
2018-10-17 10:27	31,51	31,70	0,0060373	0,036188975
2018-10-17 10:42	31,68	35,10	0,1080338	11,71190457
2018-10-17 10:57	30,50	35,90	0,17693612	29,12836458
2018-10-17 11:12	30,69	34,40	0,12072794	13,73194568
2018-10-17 11:27	26,25	32,70	0,24557526	41,56471158
2018-10-17 11:42	24,65	31,30	0,26985734	44,24327704
2018-10-17 11:57	26,35	32,60	0,23702659	39,01856236
2018-10-17 12:12	26,61	30,60	0,15013947	15,95627791
2018-10-17 12:27	18,63	27,70	0,48685851	82,26702239
2018-10-17 12:42	27,30	31,70	0,16101438	19,32736576
2018-10-17 12:57	28,38	34,30	0,20872738	35,08248576
2018-10-17 13:12	23,17	33,80	0,45848045	112,8947688
2018-10-17 13:27	29,35	34,60	0,1788521	27,55634734
2018-10-17 13:42	20,65	32,60	0,57896134	142,8865448

2018-10-17 13:57	21,69	31,80	0,46595236	102,1639214
2018-10-17 14:12	24,44	31,00	0,26818744	42,97673048
2018-10-17 14:27	27,71	33,20	0,19820956	30,16197613
2018-10-17 14:42	23,86	32,80	0,37483421	79,96970129
2018-10-17 14:57	22,28	29,90	0,34222964	58,11978012
2018-10-17 15:12	27,71	33,50	0,20878115	33,47933509
2018-10-17 15:27	28,67	36,40	0,26940706	59,67863779
2018-10-17 15:42	29,89	34,80	0,16443487	24,14993169
2018-10-17 15:57	36,85	40,60	0,10165879	14,03614236
2018-10-17 16:12	33,95	41,20	0,21371693	52,63049798
2018-10-17 16:27	38,91	42,20	0,08449529	10,81022065
2018-10-17 16:42	41,65	44,50	0,06834221	8,103587022
2018-10-17 16:57	42,93	45,40	0,05754321	6,102441377
2018-10-17 17:12	45,16	47,70	0,05635504	6,475635505
2018-10-17 17:27	47,72	49,50	0,03737055	3,179812939
2018-10-17 17:42	53,90	53,10	0,01486729	0,642189069
2018-10-17 17:57	55,11	57,90	0,05056349	7,765808358
2018-10-17 18:12	56,69	59,20	0,04424999	6,293043857
2018-10-17 18:27	60,49	62,90	0,03983727	5,806972175
2018-10-17 18:42	62,69	65,30	0,04156139	6,789484881
2018-10-17 18:57	62,26	63,90	0,02634501	2,690367575
2018-10-17 19:12	63,58	64,90	0,02069729	1,731898112
2018-10-17 19:27	61,32	62,50	0,01920565	1,387057375
2018-10-17 19:42	57,70	57,40	0,005169	0,088948291
2018-10-17 19:57	57,00	57,80	0,0139656	0,633765657
2018-10-17 20:12	57,93	58,20	0,0047001	0,074128775
2018-10-17 20:27	58,68	58,00	0,01159946	0,463303481

2018-10-17 22:12	58,99	60,10	0,01874525	1,22292634
2018-10-17 22:27	60,67	58,80	0,03085243	3,503916016
2018-10-17 22:42	62,01	60,70	0,02106027	1,70527034
2018-10-17 22:57	66,07	63,80	0,03439062	5,163192775
2018-10-17 23:12	69,14	66,80	0,03389405	5,492250038
2018-10-17 23:27	70,81	68,50	0,03260325	5,329587788
2018-10-17 23:42	71,62	69,80	0,02537366	3,302179496
2018-10-17 23:57	73,82	72,00	0,02465866	3,313528496
2018-10-18 00:12	74,57	72,90	0,02238636	2,786682681
2018-10-18 00:27	76,49	73,50	0,03904397	8,918166869
2018-10-18 00:42	78,36	75,30	0,03906685	9,371741369
2018-10-18 00:57	78,45	77,00	0,0184489	2,094578875
2018-10-18 01:12	80,21	78,20	0,02507064	4,043879684
2018-10-18 01:27	81,50	79,50	0,02449308	3,984375288
2018-10-18 01:42	81,42	79,70	0,02110062	2,951420921
2018-10-18 01:57	83,00	80,40	0,0312911	6,744772585
2018-10-18 02:12	83,42	81,20	0,02664558	4,941062122
2018-10-18 02:27	83,41	81,20	0,02650881	4,889095877
2018-10-18 02:42	83,87	81,80	0,02468245	4,285396814
2018-10-18 02:57	84,27	81,80	0,02930514	6,098578421
2018-10-18 03:12	84,04	81,90	0,02544187	4,571411743
2018-10-18 03:27	85,91	82,40	0,0408039	12,28691777
2018-10-18 03:42	87,63	84,40	0,0368797	10,44476393
2018-10-18 03:57	87,30	84,80	0,02861296	6,239254623
2018-10-18 04:12	87,02	85,10	0,0221135	3,703369243
2018-10-18 04:27	85,78	84,70	0,01253728	1,156463652
2018-10-18 04:42	85,07	83,80	0,01493247	1,613687496

2018-10-18 04:57	84,21	82,80	0,01672062	1,98249216
2018-10-18 05:12	84,09	83,20	0,01060508	0,79530724
2018-10-18 05:27	84,24	82,60	0,01941406	2,674369623
2018-10-18 05:42	83,29	82,20	0,01311038	1,19244216
2018-10-18 05:57	84,33	82,70	0,01937515	2,669903712
2018-10-18 06:12	82,32	81,70	0,00752358	0,383577081
2018-10-18 06:27	80,94	79,10	0,02267916	3,369243803
2018-10-18 06:42	78,49	77,50	0,0125669	0,972846869
2018-10-18 06:57	76,89	74,10	0,03625671	7,771243413
2018-10-18 07:12	74,88	71,90	0,03982055	8,891345931
2018-10-18 07:27	72,67	69,30	0,04641142	11,37611712
2018-10-18 07:42	69,61	66,00	0,05189176	13,04874741
2018-10-18 07:57	67,42	63,70	0,05520278	13,85235352
2018-10-18 08:12	66,35	61,20	0,077654	26,54866845
2018-10-18 08:27	61,17	52,30	0,1450183	78,69286681
2018-10-18 08:42	46,65	39,90	0,14468379	45,55458934
2018-10-18 08:57	50,57	40,70	0,19510227	97,32670908
2018-10-18 09:12	50,93	38,30	0,24792512	159,4103206
2018-10-18 09:27	41,04	37,10	0,09609079	15,55470216
2018-10-18 09:42	40,39	32,30	0,20025146	65,41081041
2018-10-18 09:57	37,33	30,70	0,17754235	43,91911712
2018-10-18 10:12	35,30	30,20	0,14456583	26,04785576
2018-10-18 10:27	31,98	29,30	0,08384377	7,190147288
2018-10-18 10:42	28,80	28,00	0,027903	0,645949764
2018-10-18 10:58	26,10	26,00	0,00377924	0,009728469
2018-10-18 11:12	29,12	28,00	0,03836868	1,248109027
2018-10-18 11:27	26,68	28,10	0,05331285	2,022840575

2018-10-18 11:42	26,90	30,20	0,12249727	10,86165826
2018-10-18 11:57	27,54	33,00	0,19846788	29,86451994
2018-10-18 12:12	30,75	33,70	0,09576096	8,673714144
2018-10-18 12:27	28,60	33,80	0,18191505	27,06438309
2018-10-18 12:42	29,24	33,90	0,15955505	21,75894096
2018-10-18 12:57	30,99	37,50	0,21005863	42,37705337
2018-10-18 13:12	31,31	36,20	0,15605175	23,87810703
2018-10-18 13:27	33,26	35,50	0,06726169	5,005533663
2018-10-18 13:42	36,22	36,60	0,01036284	0,140917652
2018-10-18 13:57	43,27	43,00	0,00631884	0,07476834
2018-10-18 14:12	38,85	37,90	0,0244187	0,899904569
2018-10-18 14:27	45,93	45,40	0,01151154	0,279534264
2018-10-18 14:42	40,88	45,00	0,10083852	16,99146108
2018-10-18 14:57	41,96	44,20	0,05345874	5,030914421
2018-10-18 15:12	46,84	45,80	0,02211844	1,07316754
2018-10-18 15:27	49,02	49,80	0,01592161	0,609133421
2018-10-18 15:42	56,73	53,90	0,04984422	7,994982452
2018-10-18 15:57	81,60	72,80	0,10783887	77,43313615
2018-10-18 16:12	79,74	79,20	0,00672629	0,287649869
2018-10-18 16:27	86,15	83,10	0,03544054	9,322763022
2018-10-18 16:42	88,11	84,10	0,0455257	16,09076837
2018-10-18 16:57	86,42	85,00	0,01647497	2,027291869
2018-10-18 17:12	85,36	84,80	0,00658728	0,316186913
2018-10-18 17:27	87,70	85,10	0,02962705	6,750851098
2018-10-18 17:42	89,70	88,60	0,01230824	1,21903681
2018-10-18 17:57	88,22	88,10	0,00136816	0,01456849
2018-10-18 18:12	87,02	88,10	0,0124391	1,171633056

2018-10-18 18:27	87,01	87,00	7,8569E-05	4,67309E-05
2018-10-18 18:42	85,75	86,50	0,00879235	0,568380288
2018-10-18 18:57	87,44	86,40	0,01186562	1,07640625
2018-10-18 19:12	85,82	88,10	0,02661018	5,214783288
2018-10-18 19:27	86,55	88,70	0,02488968	4,64014681

Tabla 5.3 Tabla de errores de Humedad Ambiental del Nodo 000.

Valor (%)	Error de 36 horas 144 datos	Error de 15 horas 60 datos
Error Relativo	8,98556	4,126329769
Error Cuadrático Medio	19,205101	8,203793103
Raíz Error Cuadrático Medio	4,3823625	2,864226441

Dentro de este primer sensor se puede apreciar los errores en la tabla 5.3; se tiene una raíz cuadrática media de 4,38236252% y un error relativo de 8,98555997%, lo cual nos indica que los sensores presentan valores medidos muy similares a los valores del equipo de referencia.

En la tabla 5.4 se presentan los datos de los valores registrados por el nodo 001 desde 16/10/2018 20:27 hasta 17/10/2018 12:12 y en la tabla 5.5 se indican los errores calculados, siendo el error relativo 3,99413495% y una raíz cuadrática media de 1,6605831%, es decir errores bajos tras la comparación entre equipos.

Tabla 5.4 Cuadro comparativo de la Humedad Ambiental entregado por el Nodo 001.

Fecha y Hora	HUMEDAD (Nodo Referencia)	HUMEDAD (Nodo Implementado)	Error Relativo	Diferencia Cuadrática
16/10/2018 20:28	54,2	55,60	0,02583026	1,96
16/10/2018 20:43	53	55,60	0,0490566	6,76
16/10/2018 20:58	53,2	56,50	0,06203008	10,89
16/10/2018 21:13	54	56,30	0,04259259	5,29
16/10/2018 21:28	53,8	56,70	0,05390335	8,41
16/10/2018 21:43	55	57,80	0,05090909	7,84
16/10/2018 21:58	56,4	59,80	0,06028369	11,56

16/10/2018 22:13	59,4	62,60	0,0538720 5	10,24
16/10/2018 22:28	63,2	63,20	0	0
16/10/2018 22:43	61,6	64,30	0,0438311 7	7,29
16/10/2018 23:43	66,8	68,10	0,0194610 8	1,69
16/10/2018 23:58	67,4	69,00	0,0237388 7	2,56
17/10/2018 0:13	68	70,40	0,0352941 2	5,76
17/10/2018 0:28	70,9	71,40	0,0070521 9	0,25
17/10/2018 0:43	70,7	71,90	0,0169731 3	1,44
17/10/2018 0:58	71,4	72,50	0,0154061 6	1,21
17/10/2018 1:13	72,3	72,60	0,0041493 8	0,09
17/10/2018 1:28	71,8	74,00	0,0306406 7	4,84
17/10/2018 1:43	73,4	74,80	0,0190735 7	1,96
17/10/2018 1:58	73,8	71,10	0,0365853 7	7,29
17/10/2018 2:13	69,1	71,70	0,0376266 3	6,76
17/10/2018 2:28	70	70,90	0,0128571 4	0,81
17/10/2018 2:43	68,3	71,40	0,0453879 9	9,61
17/10/2018 2:58	69,2	71,00	0,0260115 6	3,24
17/10/2018 3:13	69	70,80	0,0260869 6	3,24
17/10/2018 3:28	69,2	71,40	0,0317919 1	4,84
17/10/2018 3:43	69,8	72,90	0,0444126 1	9,61
17/10/2018 3:58	72,4	74,40	0,0276243 1	4
17/10/2018 4:13	73,5	75,00	0,0204081 6	2,25
17/10/2018 4:28	74,3	75,70	0,0188425 3	1,96
17/10/2018 4:43	75,1	75,50	0,0053262 3	0,16
17/10/2018 4:58	73,7	75,40	0,0230664 9	2,89
17/10/2018 5:13	74,1	75,60	0,0202429 1	2,25
17/10/2018 5:28	73,8	76,20	0,0325203 3	5,76
17/10/2018 5:43	75,3	75,10	0,0026560 4	0,04
17/10/2018 5:58	73,1	75,10	0,0273597 8	4

17/10/2018 6:13	73,2	75,10	0,0259562 8	3,61
17/10/2018 6:28	74	74,50	0,0067567 6	0,25
17/10/2018 6:43	72,2	74,10	0,0263157 9	3,61
17/10/2018 6:58	70,7	72,90	0,0311174	4,84
17/10/2018 7:13	69,2	71,10	0,0274566 5	3,61
17/10/2018 7:28	67,3	66,80	0,0074294 2	0,25
17/10/2018 7:43	64,5	68,30	0,0589147 3	14,44
17/10/2018 7:58	66,9	65,40	0,0224215 2	2,25
17/10/2018 8:13	60	60,60	0,01	0,36
17/10/2018 8:28	51,9	59,30	0,1425818 9	54,76
17/10/2018 8:43	54,3	55,10	0,0147329 7	0,64
17/10/2018 8:58	51	52,60	0,0313725 5	2,56
17/10/2018 9:13	49,3	48,70	0,0121703 9	0,36
17/10/2018 9:28	45,9	50,70	0,1045751 6	23,04
17/10/2018 9:43	45,3	46,20	0,0198675 5	0,81
17/10/2018 9:58	41,7	46,40	0,1127098 3	22,09
17/10/2018 10:13	39,8	42,10	0,0577889 4	5,29
17/10/2018 10:28	38,6	37,50	0,0284974 1	1,21
17/10/2018 10:43	35,9	39,40	0,0974930 4	12,25
17/10/2018 10:58	35,2	38,90	0,1051136 4	13,69
17/10/2018 11:13	35,3	39,60	0,1218130 3	18,49
17/10/2018 11:28	32,1	34,80	0,0841121 5	7,29
17/10/2018 11:43	30,4	35,20	0,1578947 4	23,04
17/10/2018 11:58	30,6	32,20	0,05228758	2,56
17/10/2018 12:13	29	29,70	0,02413793	0,49

Tabla 5.5 Tabla de errores de Humedad Ambiental del Nodo 001.

Error de 15 horas 60 datos	Valor (%)
Error Relativo	3,99413495
Error Cuadrático Medio	2,75753623
Raíz Error Cuadrático Medio	1,6605831

Como se ve en la figura 5.9 y 5.10, se presenta un gráfico en donde se comparan los datos medidos por el equipo Libelium graficado con azul versus los datos medidos por el sistema implementados graficado con una línea de color naranja; cabe destacar una tendencia muy similar entre las mediciones de los sensores.

La figura 5.10 muestra un funcionamiento desde 17 de octubre a las 7h00 del hasta las 19h00 del día 18 de octubre; estos datos son tomados con el fin de verificar funcionamiento de un nodo con suficiente radiación solar para la carga completa de las baterías. La figura 5.11 muestra los valores tomados desde las 20h30 del día 16 de octubre hasta las 12 horas del día 17 de octubre, se toma estos datos en función de un nodo ubicado bajo la sombra para verificar el funcionamiento del panel con poca radiación solar.

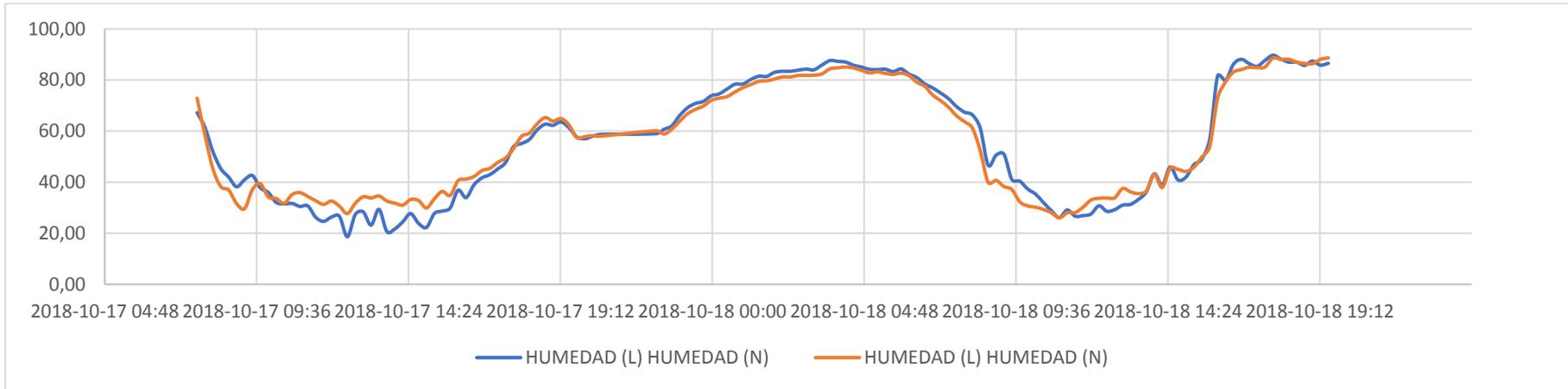


Figura 5.10 Gráfico del comportamiento de la Humedad Ambiental del Nodo 000.

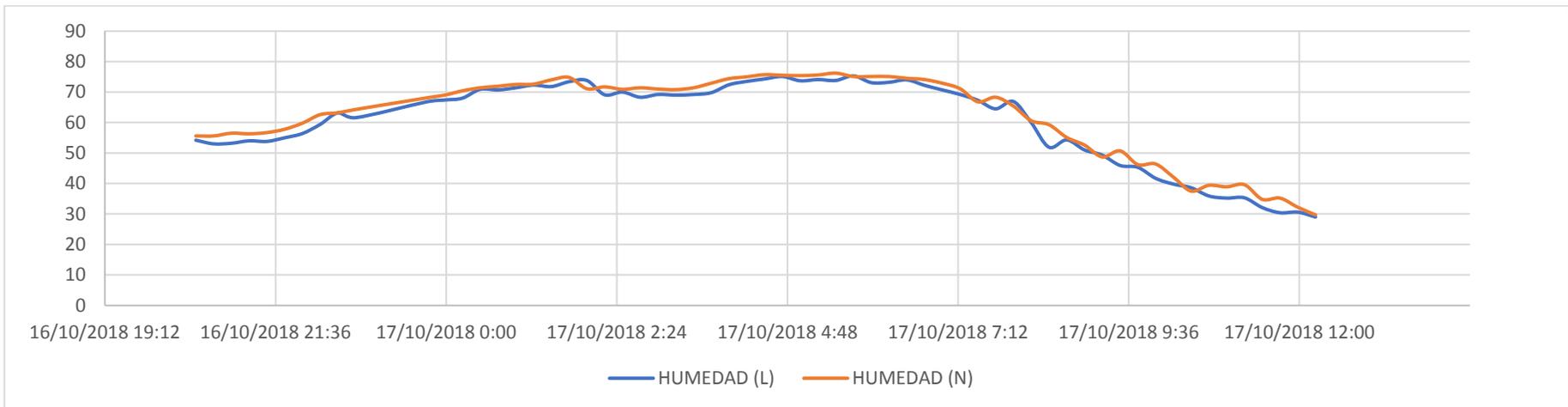


Figura 5.11 Gráfico del comportamiento de la Humedad Ambiental del Nodo 001.

5.3.1.2 Sensor de Temperatura del Suelo

En las tablas 5.6 y 5.7 se observa los valores registrados por el nodo 000 desde 17/10/2018 07h42 hasta 18/10/2018 19h27 y los valores de los errores calculados respectivamente; se obtuvo un error relativo de 1,60148316% y una raíz cuadrática media de 0,42396335%.

Tabla 5.6 Cuadro comparativo de la Temperatura del Suelo entregado por el Nodo 000.

Fecha y Hora	T, SUELO (Nodo Referencia)	T, SUELO (Nodo Implementado)	Error Relativo	Diferencia Cuadrática
2018-10-17 07:42	16,62	16,51	0,00653993	0,01181243
2018-10-17 07:57	16,60	16,48	0,00734696	0,01487766
2018-10-17 08:12	16,59	16,50	0,00564289	0,0087677
2018-10-17 08:27	16,59	16,58	0,00082176	0,00018594
2018-10-17 08:42	16,60	16,64	0,00229045	0,00144598
2018-10-17 08:57	16,63	16,87	0,01461137	0,05902179
2018-10-17 09:12	16,69	16,96	0,01594026	0,07081187
2018-10-17 09:27	16,80	16,96	0,00937018	0,0247883
2018-10-17 09:42	16,94	17,06	0,00680437	0,01329363
2018-10-17 09:57	17,10	17,24	0,00846372	0,0209352
2018-10-17 10:12	17,25	17,40	0,0084431	0,02122266
2018-10-17 10:27	17,42	17,52	0,00563327	0,00963185
2018-10-17 10:42	17,60	17,58	0,00101308	0,00031784
2018-10-17 10:57	17,77	17,72	0,00256058	0,00206934
2018-10-17 11:12	17,91	17,79	0,00659661	0,01395541
2018-10-17 11:27	18,04	18,02	0,00124368	0,00050351
2018-10-17 11:42	18,17	18,09	0,0043154	0,00614719
2018-10-17 11:57	18,29	18,22	0,00406682	0,00553536
2018-10-17 12:12	18,45	18,35	0,00518799	0,00915772
2018-10-17 12:27	18,60	18,46	0,00736966	0,0187838
2018-10-17 12:42	18,76	18,58	0,00943157	0,03129609
2018-10-17 12:57	18,90	18,66	0,01269779	0,05759424
2018-10-17 13:12	19,04	18,80	0,01276904	0,05912824
2018-10-17 13:27	19,16	18,94	0,01154071	0,0488998
2018-10-17 13:42	19,26	19,00	0,01361553	0,06878345

2018-10-17 13:57	19,35	19,20	0,00757576	0,0214813
2018-10-17 14:12	19,44	19,34	0,00510974	0,00986645
2018-10-17 14:27	19,52	19,38	0,00736303	0,02066521
2018-10-17 14:42	19,62	19,49	0,00645113	0,01601465
2018-10-17 14:57	19,73	19,66	0,00335963	0,00439211
2018-10-17 15:12	19,85	19,68	0,0087134	0,0299245
2018-10-17 15:27	19,98	19,72	0,01299987	0,06746175
2018-10-17 15:42	20,09	19,78	0,01541008	0,09584101
2018-10-17 15:57	20,15	19,81	0,01681343	0,11476511
2018-10-17 16:12	20,19	19,81	0,01887276	0,14520749
2018-10-17 16:27	20,19	19,81	0,01887276	0,14520749
2018-10-17 16:42	20,18	19,76	0,02093863	0,17858738
2018-10-17 16:57	20,17	19,71	0,02300624	0,21541759
2018-10-17 17:12	20,14	19,67	0,02335299	0,22121689
2018-10-17 17:27	20,09	19,62	0,0233744	0,22050725
2018-10-17 17:42	20,03	19,56	0,02348411	0,2212724
2018-10-17 17:57	19,96	19,48	0,02418523	0,23310067
2018-10-17 18:12	19,90	19,40	0,02489121	0,24523889
2018-10-17 18:27	19,81	19,32	0,0247724	0,24084538
2018-10-17 18:42	19,73	19,26	0,02363716	0,21741051
2018-10-17 18:57	19,64	19,20	0,02249832	0,19528445
2018-10-17 19:12	19,55	19,10	0,02296908	0,20162165
2018-10-17 19:27	19,46	19,01	0,02335823	0,20671572
2018-10-17 19:42	19,38	18,95	0,02220447	0,18518391
2018-10-17 19:57	19,29	18,86	0,02216639	0,18278618
2018-10-17 20:12	19,20	18,79	0,02152061	0,17078879
2018-10-17 20:27	19,12	18,73	0,02034615	0,15131944
2018-10-17 22:12	18,58	18,31	0,01454326	0,07301723
2018-10-17 22:27	18,49	18,24	0,01339826	0,06135678
2018-10-17 22:42	18,43	18,19	0,01296119	0,0570541
2018-10-17 22:57	18,35	18,12	0,01270526	0,05437385
2018-10-17 23:12	18,29	18,05	0,01335928	0,05973136
2018-10-17 23:27	18,22	18,00	0,0120086	0,04786556

2018-10-17 23:42	18,15	17,92	0,01275921	0,05363856
2018-10-17 23:57	18,08	17,86	0,01195031	0,04666205
2018-10-18 00:12	17,99	17,80	0,0106746	0,03688628
2018-10-18 00:27	17,92	17,73	0,01040962	0,03478374
2018-10-18 00:42	17,83	17,65	0,01024028	0,03334678
2018-10-18 00:57	17,75	17,58	0,00950581	0,02846509
2018-10-18 01:12	17,66	17,51	0,00876622	0,02397976
2018-10-18 01:27	17,59	17,46	0,00735817	0,01675109
2018-10-18 01:42	17,51	17,37	0,00774762	0,01839468
2018-10-18 01:57	17,42	17,30	0,00699455	0,01484937
2018-10-18 02:12	17,35	17,23	0,00671193	0,01355548
2018-10-18 02:27	17,26	17,18	0,00479194	0,00684293
2018-10-18 02:42	17,19	17,10	0,00508252	0,0076309
2018-10-18 02:57	17,11	17,04	0,00420874	0,00518688
2018-10-18 03:12	17,04	17,00	0,00215511	0,00134806
2018-10-18 03:27	16,96	16,92	0,00244154	0,00171495
2018-10-18 03:42	16,89	16,84	0,00273236	0,00212881
2018-10-18 03:57	16,82	16,79	0,00174009	0,00085656
2018-10-18 04:12	16,75	16,72	0,00193381	0,0010495
2018-10-18 04:27	16,68	16,66	0,00103045	0,00029532
2018-10-18 04:42	16,61	16,60	0,00062286	0,00010704
2018-10-18 04:57	16,55	16,56	0,00049263	6,6488E-05
2018-10-18 05:12	16,49	16,51	0,0010061	0,00027536
2018-10-18 05:27	16,43	16,46	0,00152492	0,0006281
2018-10-18 05:42	16,39	16,42	0,00163611	0,00071937
2018-10-18 05:57	16,34	16,38	0,00225526	0,00135851
2018-10-18 06:12	16,30	16,32	0,00114211	0,00034663
2018-10-18 06:27	16,26	16,31	0,00309631	0,00253462
2018-10-18 06:42	16,22	16,29	0,00444211	0,00519005
2018-10-18 06:57	16,18	16,26	0,00466074	0,00568999
2018-10-18 07:12	16,16	16,22	0,0037407	0,00365396
2018-10-18 07:27	16,14	16,20	0,0035389	0,00326361
2018-10-18 07:42	16,13	16,20	0,00405757	0,00428593

2018-10-18 07:57	16,13	16,20	0,00405757	0,00428593
2018-10-18 08:12	16,14	16,21	0,00415837	0,00450617
2018-10-18 08:27	16,17	16,26	0,00569709	0,00848425
2018-10-18 08:42	16,22	16,35	0,00814172	0,01743509
2018-10-18 08:57	16,28	16,41	0,00769409	0,01569909
2018-10-18 09:12	16,38	16,52	0,00876256	0,02059225
2018-10-18 09:27	16,50	16,63	0,00777209	0,01644883
2018-10-18 09:42	16,67	16,86	0,01146774	0,03653985
2018-10-18 09:57	16,87	17,06	0,01129868	0,03632912
2018-10-18 10:12	17,14	17,29	0,00892022	0,02336832
2018-10-18 10:27	17,46	17,56	0,00599587	0,01095372
2018-10-18 10:42	17,82	17,88	0,00312832	0,00310918
2018-10-18 10:58	18,24	18,12	0,00633685	0,01335319
2018-10-18 11:12	18,66	18,38	0,01478873	0,07611915
2018-10-18 11:27	19,03	18,68	0,01863588	0,12583266
2018-10-18 11:42	19,36	18,88	0,02496785	0,23373744
2018-10-18 11:57	19,67	19,06	0,03087423	0,36870398
2018-10-18 12:12	19,95	19,21	0,03689664	0,54160474
2018-10-18 12:27	20,17	19,36	0,03995241	0,64909931
2018-10-18 12:42	20,33	19,50	0,04065625	0,6829287
2018-10-18 12:57	20,44	19,57	0,04279293	0,76544476
2018-10-18 13:12	20,53	18,80	0,08424641	2,99130861
2018-10-18 13:27	20,60	19,72	0,04259222	0,76962722
2018-10-18 13:42	20,63	19,79	0,0407705	0,70751986
2018-10-18 13:57	20,65	19,76	0,04301131	0,78872516
2018-10-18 14:12	20,66	19,85	0,03904652	0,65055033
2018-10-18 14:27	20,66	19,82	0,04049884	0,69984435
2018-10-18 14:42	20,65	19,82	0,04010548	0,68575292
2018-10-18 14:57	20,64	19,83	0,03922729	0,65551207
2018-10-18 15:12	20,62	19,86	0,03698244	0,58167621
2018-10-18 15:27	20,60	19,83	0,03725171	0,58872474
2018-10-18 15:42	20,56	19,81	0,03663772	0,56760553
2018-10-18 15:57	20,53	19,74	0,03845873	0,62337341

2018-10-18 16:12	20,48	19,67	0,03949084	0,65403127
2018-10-18 16:27	20,41	19,63	0,03826557	0,61002348
2018-10-18 16:42	20,32	19,57	0,03681142	0,55940228
2018-10-18 16:57	20,22	19,48	0,03642687	0,54231589
2018-10-18 17:12	20,11	19,42	0,03455013	0,48299025
2018-10-18 17:27	20,01	19,34	0,03324478	0,44231012
2018-10-18 17:42	19,90	19,26	0,03192808	0,40349937
2018-10-18 17:57	19,78	19,16	0,03119619	0,38064705
2018-10-18 18:12	19,67	19,09	0,02934885	0,33317138
2018-10-18 18:27	19,56	19,01	0,02799214	0,29970698
2018-10-18 18:42	19,45	18,92	0,02713902	0,27856651
2018-10-18 18:57	19,34	18,87	0,02420928	0,21917659
2018-10-18 19:12	19,23	18,78	0,02332805	0,20121056
2018-10-18 19:27	19,13	18,72	0,02129929	0,16597476

Tabla 5.7 Tabla de errores de la Temperatura del Suelo del Nodo 000.

Valor (%)	Error de 36 horas 144 datos	Error de 15 horas 60 datos
Error Relativo	1,6014832	8,0202253
Error Cuadrático Medio	0,1797449	4,08590849
Raíz Error Cuadrático Medio	0,4239634	2,02136303

Los valores medidos por el nodo 001 se presentan las siguientes tablas; se destacan los valores registrados en la tabla 5.8 desde 16/10/2018 20:27 hasta 17/10/2010 12:12 y los errores porcentuales en la tabla 5.9, estos presentan un error relativo de 7,44857603% y una raíz cuadrática media de 0,9369295%.

Tabla 5.8 Cuadro comparativo de la Temperatura del Suelo entregado por el Nodo 001.

Fecha y Hora	T, SUELO (Nodo Referencia)	T, SUELO (Nodo Implementado)	Error Relativo	Diferencia Cuadrática
16/10/2018 20:28	17,31	17,38	0,00404391	0,0049
16/10/2018 20:43	17,25	17,29	0,00231884	0,0016
16/10/2018 20:58	17,19	17,23	0,00232693	0,0016
16/10/2018 21:13	17,13	17,15	0,00116754	0,0004
16/10/2018 21:28	17,06	15,95	0,06506448	1,2321
16/10/2018 21:43	17	16,46	0,03176471	0,2916

16/10/2018 21:58	16,94	16,18	0,04486423	0,5776
16/10/2018 22:13	16,88	15,99	0,05272512	0,7921
16/10/2018 22:28	16,81	15,88	0,05532421	0,8649
16/10/2018 22:43	16,75	15,77	0,05850746	0,9604
16/10/2018 23:43	16,5	15,42	0,06545455	1,1664
16/10/2018 23:58	16,44	15,39	0,06386861	1,1025
17/10/2018 0:13	16,44	15,3	0,06934307	1,2996
17/10/2018 0:28	16,38	15,22	0,07081807	1,3456
17/10/2018 0:43	16,31	15,17	0,06989577	1,2996
17/10/2018 0:58	16,25	15,1	0,07076923	1,3225
17/10/2018 1:13	16,25	15,06	0,07323077	1,4161
17/10/2018 1:28	16,19	15	0,07350216	1,4161
17/10/2018 1:43	16,13	14,96	0,07253565	1,3689
17/10/2018 1:58	16,06	14,94	0,06973848	1,2544
17/10/2018 2:13	16	14,96	0,065	1,0816
17/10/2018 2:28	16	14,97	0,064375	1,0609
17/10/2018 2:43	15,94	14,94	0,06273526	1
17/10/2018 2:58	15,94	14,94	0,06273526	1
17/10/2018 3:13	15,88	14,91	0,06108312	0,9409
17/10/2018 3:28	15,88	14,88	0,06297229	1
17/10/2018 3:43	15,81	14,79	0,06451613	1,0404
17/10/2018 3:58	15,81	14,72	0,06894371	1,1881
17/10/2018 4:13	15,75	14,68	0,06793651	1,1449
17/10/2018 4:28	15,75	14,66	0,06920635	1,1881
17/10/2018 4:43	15,75	14,64	0,07047619	1,2321
17/10/2018 4:58	15,69	14,64	0,06692161	1,1025
17/10/2018 5:13	15,63	14,64	0,06333973	0,9801
17/10/2018 5:28	15,63	14,63	0,06397953	1
17/10/2018 5:43	15,63	14,62	0,06461932	1,0201
17/10/2018 5:58	15,56	14,58	0,06298201	0,9604
17/10/2018 6:13	15,56	14,55	0,06491003	1,0201
17/10/2018 6:28	15,56	14,57	0,06362468	0,9801
17/10/2018 6:43	15,5	14,6	0,05806452	0,81

17/10/2018 6:58	15,5	14,67	0,05354839	0,6889
17/10/2018 7:13	15,5	14,7	0,0516129	0,64
17/10/2018 7:28	15,5	14,87	0,04064516	0,3969
17/10/2018 7:43	15,5	14,86	0,04129032	0,4096
17/10/2018 7:58	15,5	14,97	0,03419355	0,2809
17/10/2018 8:13	15,5	15,17	0,02129032	0,1089
17/10/2018 8:28	15,5	15,84	0,02193548	0,1156
17/10/2018 8:43	15,5	16,28	0,05032258	0,6084
17/10/2018 8:58	15,56	17,28	0,11053985	2,9584
17/10/2018 9:13	15,69	17,26	0,10006373	2,4649
17/10/2018 9:28	15,81	17,44	0,1030993	2,6569
17/10/2018 9:43	15,94	17,78	0,11543287	3,3856
17/10/2018 9:58	16,06	18,12	0,12826899	4,2436
17/10/2018 10:13	16,19	18,45	0,13959234	5,1076
17/10/2018 10:28	16,31	18,64	0,14285714	5,4289
17/10/2018 10:43	16,44	18,55	0,1283455	4,4521
17/10/2018 10:58	16,5	18,74	0,13575758	5,0176
17/10/2018 11:13	16,63	18,9	0,1365003	5,1529
17/10/2018 11:28	16,75	19,7	0,1761194	8,7025
17/10/2018 11:43	16,88	19,88	0,17772512	9
17/10/2018 11:58	16,94	20,19	0,1918536	10,5625
17/10/2018 12:13	17,06	20,42	0,19695193	11,2896

Tabla 5.9 Tabla de errores de la Temperatura del Suelo del Nodo 001.

Error de 15 horas 60 datos	Valor (%)
Error Relativo	7,44857603
Error Cuadrático Medio	0,87783696
Raíz Error Cuadrático Medio	0,9369295

En las siguientes gráficas se puede observar las curvas de medición de los dos equipos; el nodo Libelium marca la línea azul y la línea naranja el equipo desarrollado; en la gráfica 5.12 se tiene la gráfica del nodo 000 y en la figura 5.13 el nodo 001

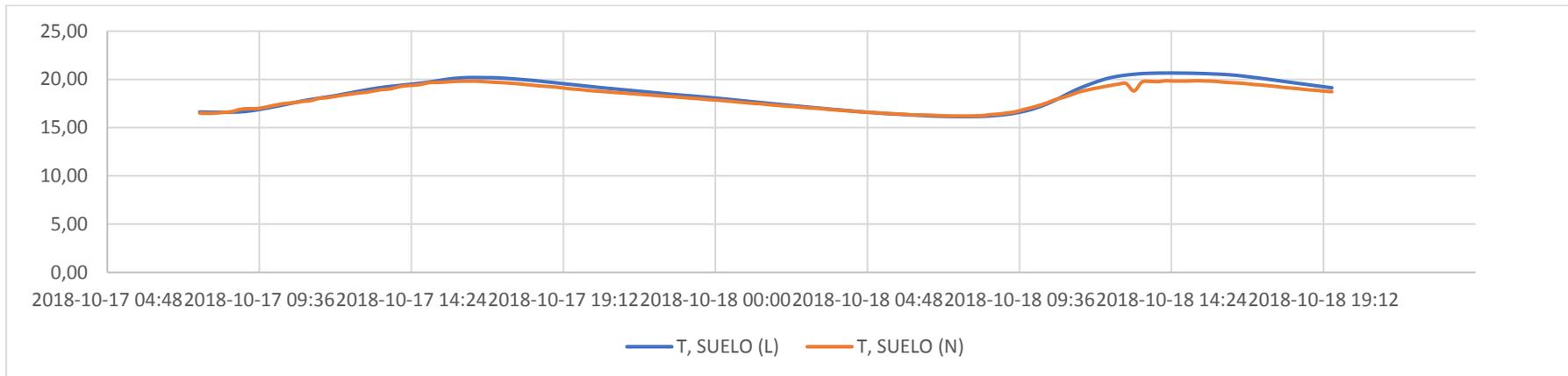


Figura 5.12 Gráfico del comportamiento de la Temperatura del Suelo del Nodo 000 comparado con Libelium.

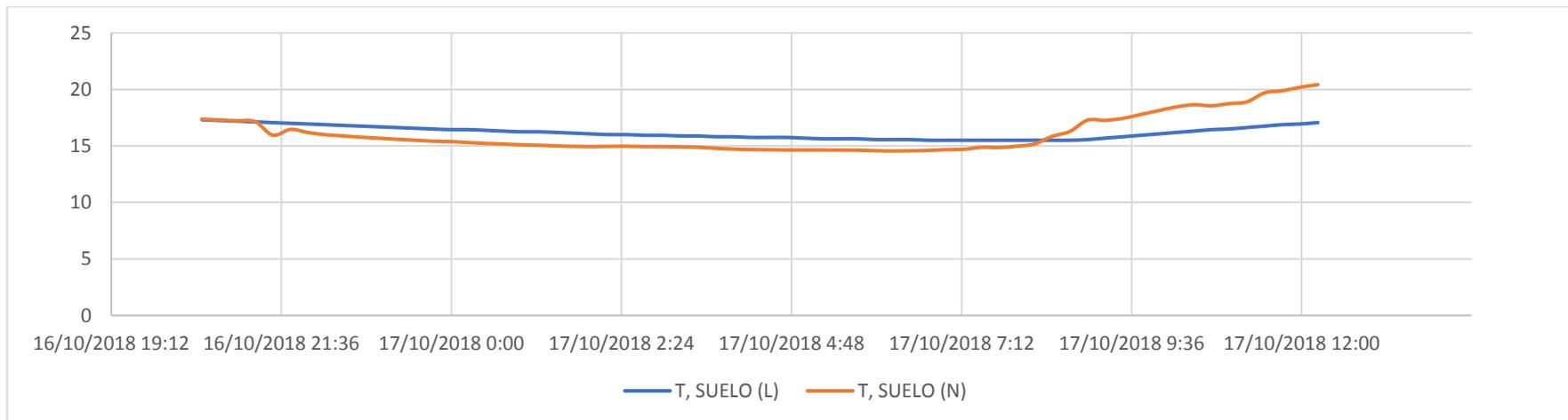


Figura 5.13 Gráfico del comportamiento de la Temperatura del Suelo del Nodo 001 comparado con Libelium.

5.3.1.3 Temperatura Ambiental

Los datos registrados del nodo 000 se muestran en la tabla 5.10, al igual que los errores porcentuales en la tabla 5.11; de este nodo se presentan errores más pronunciados; estos se producen debido al diseño de color oscuro del nodo, al obtener mayor cantidad de radiación solar se calienta toda la estructura provocando un aumento de temperatura por contacto con los sensores; los errores relativos aumentan por este aspecto siendo un 15,4724793% y la raíz cuadrática media alcanza el 4,3844493%.

Tabla 5.10 Cuadro comparativo de la Temperatura Ambiental entregado por el Nodo 000.

Fecha y Hora	T, AMBIENTAL (Nodo Referencia)	T, AMBIENTAL (Nodo Implementado)	Error Relativo	Diferencia Cuadrática
2018-10-17 07:42	13,78	15,85	0,1502177 1	4,2849
2018-10-17 07:57	15,38	19,14	0,2444733 4	14,1376
2018-10-17 08:12	18,20	25,29	0,3895604 4	50,2681
2018-10-17 08:27	20,04	29,46	0,4700598 8	88,7364
2018-10-17 08:42	20,82	29,71	0,4269932 8	79,0321
2018-10-17 08:57	21,88	34,92	0,5959780 6	170,0416
2018-10-17 09:12	20,87	33,72	0,6157163 4	165,1225
2018-10-17 09:27	20,24	26,47	0,3078063 2	38,8129
2018-10-17 09:42	21,46	26,47	0,2334576	25,1001
2018-10-17 09:57	22,79	29,55	0,2966213 3	45,6976
2018-10-17 10:12	22,89	29,96	0,3088685	49,9849
2018-10-17 10:27	22,13	27,15	0,2268413 9	25,2004
2018-10-17 10:42	21,54	25,13	0,1666666 7	12,8881
2018-10-17 10:57	22,56	26,24	0,1631205 7	13,5424
2018-10-17 11:12	22,41	26,49	0,1820615 8	16,6464
2018-10-17 11:27	24,58	30,23	0,2298616 8	31,9225
2018-10-17 11:42	25,13	30,68	0,2208515 7	30,8025
2018-10-17 11:57	25,45	30,93	0,2153241 7	30,0304
2018-10-17 12:12	24,28	29,86	0,2298187 8	31,1364
2018-10-17 12:27	26,93	32,35	0,2012625 3	29,3764
2018-10-17 12:42	23,89	28,34	0,1862704 1	19,8025
2018-10-17 12:57	23,61	27,13	0,1490893 7	12,3904

2018-10-17 13:12	26,18	29,29	0,1187929 7	9,6721
2018-10-17 13:27	23,37	26,72	0,1433461 7	11,2225
2018-10-17 13:42	26,87	30,91	0,1503535 5	16,3216
2018-10-17 13:57	25,73	30,45	0,1834434 5	22,2784
2018-10-17 14:12	25,25	30,10	0,1920792 1	23,5225
2018-10-17 14:27	23,80	27,04	0,1361344 5	10,4976
2018-10-17 14:42	25,57	29,41	0,1501759 9	14,7456
2018-10-17 14:57	25,95	30,85	0,1888246 6	24,01
2018-10-17 15:12	23,25	26,32	0,1320430 1	9,4249
2018-10-17 15:27	22,96	25,24	0,0993031 4	5,1984
2018-10-17 15:42	22,69	24,77	0,0916703 4	4,3264
2018-10-17 15:57	22,12	23,95	0,0827305 6	3,3489
2018-10-17 16:12	23,00	24,66	0,0721739 1	2,7556
2018-10-17 16:27	21,10	22,78	0,0796208 5	2,8224
2018-10-17 16:42	19,91	20,85	0,0472124 6	0,8836
2018-10-17 16:57	19,41	20,24	0,0427614 6	0,6889
2018-10-17 17:12	18,90	19,93	0,0544973 5	1,0609
2018-10-17 17:27	18,29	19,16	0,0475669 8	0,7569
2018-10-17 17:42	17,01	17,86	0,0499706 1	0,7225
2018-10-17 17:57	16,14	16,57	0,0266418 8	0,1849
2018-10-17 18:12	15,83	16,29	0,0290587 5	0,2116
2018-10-17 18:27	15,61	16,16	0,0352338 2	0,3025
2018-10-17 18:42	15,04	15,73	0,0458776 6	0,4761
2018-10-17 18:57	14,85	15,56	0,0478114 5	0,5041
2018-10-17 19:12	14,34	15,07	0,0509065 6	0,5329
2018-10-17 19:27	14,32	14,88	0,0391061 5	0,3136
2018-10-17 19:42	14,22	14,85	0,0443038	0,3969
2018-10-17 19:57	14,41	14,97	0,0388619	0,3136
2018-10-17 20:12	14,26	14,84	0,0406732 1	0,3364
2018-10-17 20:27	14,28	14,87	0,0413165 3	0,3481
2018-10-17 22:12	14,19	14,85	0,0465116 3	0,4356
2018-10-17 22:27	13,83	14,69	0,0621836 6	0,7396
2018-10-17 22:42	13,53	14,07	0,0399113 1	0,2916

2018-10-17 22:57	12,67	13,35	0,0536700 9	0,4624
2018-10-17 23:12	12,03	12,71	0,0565253 5	0,4624
2018-10-17 23:27	11,78	12,38	0,0509337 9	0,36
2018-10-17 23:42	11,56	12,08	0,0449827	0,2704
2018-10-17 23:57	11,14	11,68	0,0484739 7	0,2916
2018-10-18 00:12	10,97	11,48	0,0464904 3	0,2601
2018-10-18 00:27	10,64	11,26	0,0582706 8	0,3844
2018-10-18 00:42	10,26	10,86	0,0584795 3	0,36
2018-10-18 00:57	10,20	10,72	0,0509803 9	0,2704
2018-10-18 01:12	9,89	10,46	0,0576339 7	0,3249
2018-10-18 01:27	9,76	10,36	0,0614754 1	0,36
2018-10-18 01:42	9,69	10,27	0,0598555 2	0,3364
2018-10-18 01:57	9,34	10,00	0,0706638 1	0,4356
2018-10-18 02:12	9,26	9,85	0,0637149	0,3481
2018-10-18 02:27	9,20	9,78	0,0630434 8	0,3364
2018-10-18 02:42	9,22	9,81	0,0639913 2	0,3481
2018-10-18 02:57	9,15	9,78	0,0688524 6	0,3969
2018-10-18 03:12	9,09	9,65	0,0616061 6	0,3136
2018-10-18 03:27	8,67	9,35	0,0784313 7	0,4624
2018-10-18 03:42	8,47	9,13	0,0779220 8	0,4356
2018-10-18 03:57	8,46	9,04	0,0685579 2	0,3364
2018-10-18 04:12	8,65	9,21	0,0647398 8	0,3136
2018-10-18 04:27	9,06	9,64	0,0640176 6	0,3364
2018-10-18 04:42	9,11	9,74	0,0691547 7	0,3969
2018-10-18 04:57	9,28	9,87	0,0635775 9	0,3481
2018-10-18 05:12	9,49	10,11	0,0653319 3	0,3844
2018-10-18 05:27	9,38	10,06	0,0724946 7	0,4624
2018-10-18 05:42	9,61	10,22	0,0634755 5	0,3721
2018-10-18 05:57	9,59	10,23	0,0667361 8	0,4096
2018-10-18 06:12	9,87	10,54	0,0678824 7	0,4489
2018-10-18 06:27	10,23	11,05	0,0801564	0,6724
2018-10-18 06:42	10,70	11,77	0,1	1,1449
2018-10-18 06:57	11,12	12,40	0,1151079 1	1,6384

2018-10-18 07:12	11,57	13,03	0,1261884 2	2,1316
2018-10-18 07:27	11,95	13,69	0,1456066 9	3,0276
2018-10-18 07:42	12,61	14,54	0,1530531 3	3,7249
2018-10-18 07:57	13,43	15,75	0,1727475 8	5,3824
2018-10-18 08:12	13,89	16,79	0,2087833	8,41
2018-10-18 08:27	15,27	20,21	0,3235101 5	24,4036
2018-10-18 08:42	18,88	27,48	0,4555084 7	73,96
2018-10-18 08:57	17,95	25,78	0,4362117	61,3089
2018-10-18 09:12	17,77	26,45	0,4884637	75,3424
2018-10-18 09:27	21,02	29,67	0,4115128 4	74,8225
2018-10-18 09:42	21,43	31,60	0,4745683 6	103,4289
2018-10-18 09:57	21,85	32,87	0,5043478 3	121,4404
2018-10-18 10:12	22,15	32,86	0,4835214 4	114,7041
2018-10-18 10:27	23,02	32,96	0,4317984 4	98,8036
2018-10-18 10:42	23,71	34,41	0,4512863 8	114,49
2018-10-18 10:58	24,17	36,98	0,5299958 6	164,0961
2018-10-18 11:12	23,46	33,99	0,4488491	110,8809
2018-10-18 11:27	24,49	33,51	0,3683136	81,3604
2018-10-18 11:42	24,24	30,79	0,2702145 2	42,9025
2018-10-18 11:57	24,39	29,02	0,1898319	21,4369
2018-10-18 12:12	23,16	26,77	0,1558721 9	13,0321
2018-10-18 12:27	23,95	27,69	0,1561586 6	13,9876
2018-10-18 12:42	23,90	27,75	0,1610878 7	14,8225
2018-10-18 12:57	23,67	26,95	0,1385720 3	10,7584
2018-10-18 13:12	23,00	29,29	0,2734782 6	39,5641
2018-10-18 13:27	22,40	26,04	0,1625	13,2496
2018-10-18 13:42	21,35	24,31	0,1386416 9	8,7616
2018-10-18 13:57	19,71	21,19	0,0750887 9	2,1904
2018-10-18 14:12	21,07	25,36	0,2036070 2	18,4041
2018-10-18 14:27	19,71	21,65	0,0984271 9	3,7636
2018-10-18 14:42	21,26	23,52	0,1063029 2	5,1076
2018-10-18 14:57	21,15	23,29	0,1011820 3	4,5796
2018-10-18 15:12	19,72	22,22	0,1267748 5	6,25

2018-10-18 15:27	19,08	20,71	0,0854297 7	2,6569
2018-10-18 15:42	17,94	19,46	0,0847268 7	2,3104
2018-10-18 15:57	14,39	16,25	0,1292564 3	3,4596
2018-10-18 16:12	14,97	15,95	0,0654642 6	0,9604
2018-10-18 16:27	13,68	15,12	0,1052631 6	2,0736
2018-10-18 16:42	13,43	14,87	0,1072226 4	2,0736
2018-10-18 16:57	13,34	14,54	0,0899550 2	1,44
2018-10-18 17:12	12,98	14,22	0,0955315 9	1,5376
2018-10-18 17:27	12,77	13,92	0,0900548 2	1,3225
2018-10-18 17:42	12,72	13,75	0,0809748 4	1,0609
2018-10-18 17:57	12,59	13,68	0,0865766 5	1,1881
2018-10-18 18:12	12,75	13,57	0,0643137 3	0,6724
2018-10-18 18:27	12,81	13,58	0,0601092 9	0,5929
2018-10-18 18:42	12,78	13,52	0,0579029 7	0,5476
2018-10-18 18:57	12,51	13,28	0,0615507 6	0,5929
2018-10-18 19:12	12,55	13,12	0,0454183 3	0,3249
2018-10-18 19:27	12,35	12,98	0,0510121 5	0,3969

Tabla 5.11 Tabla de errores de la Temperatura Ambiental del Nodo 000.

Valor (%)	Error de 36 horas 144 datos	Error de 15 horas 60 datos
Error Relativo	15,472479	5,0762086
Error Cuadrático Medio	19,223396	1,09685345
Raíz Error Cuadrático Medio	4,3844493	1,04730771

Los datos del nodo 001 se muestran en la tabla 5.11, de igual manera presentan un error mayor, debido a las condiciones similares de estructura; presenta una raíz cuadrática media de 1,15906947% y un error relativo de 8,21662569% mostrados en la tabla 5.12.

Tabla 5.12 Cuadro comparativo de la Temperatura Ambiental entregado por el Nodo 001.

Fecha y Hora	T. Ambiental (Nodo Referencia)	T. Ambiental (Nodo Implementado)	Error Relativo	Diferencia Cuadrática
16/10/2018 20:28	15,03	14,95	0,04302568	0,3844
16/10/2018 20:43	14,88	14,80	0,0464135	0,4356
16/10/2018 20:58	14,89	14,81	0,04491228	0,4096
16/10/2018 21:13	14,9	14,82	0,04781997	0,4624
16/10/2018 21:28	14,85	14,77	0,05169972	0,5329
16/10/2018 21:43	14,7	14,62	0,05376344	0,5625
16/10/2018 21:58	14,11	14,03	0,06893939	0,8281
16/10/2018 22:13	13,53	13,45	0,07894737	0,9801
16/10/2018 22:28	13,62	13,54	0,05581395	0,5184
16/10/2018 22:43	13,2	13,12	0,07404394	0,8281
16/10/2018 23:43	13,06	12,98	0,06525285	0,64
16/10/2018 23:58	13,05	12,97	0,06879607	0,7056
17/10/2018 0:13	12,62	12,54	0,07587383	0,7921
17/10/2018 0:28	12,52	12,44	0,06101695	0,5184
17/10/2018 0:43	12,45	12,37	0,06866953	0,64
17/10/2018 0:58	12,42	12,34	0,07161346	0,6889
17/10/2018 1:13	12,36	12,28	0,06459948	0,5625
17/10/2018 1:28	12,23	12,15	0,0625543	0,5184
17/10/2018 1:43	12,2	12,12	0,06643357	0,5776
17/10/2018 1:58	12,61	12,53	0,04128819	0,25
17/10/2018 2:13	12,8	12,72	0,05610561	0,4624
17/10/2018 2:28	13,04	12,96	0,04991948	0,3844
17/10/2018 2:43	13,18	13,10	0,05355715	0,4489
17/10/2018 2:58	13,25	13,17	0,05242256	0,4356

17/10/2018 3:13	13,18	13,10	0,05608974	0,49
17/10/2018 3:28	13	12,92	0,05605199	0,4761
17/10/2018 3:43	12,62	12,54	0,0676819	0,64
17/10/2018 3:58	12,35	12,27	0,0683391	0,6241
17/10/2018 4:13	12,34	12,26	0,06196213	0,5184
17/10/2018 4:28	12,38	12,30	0,06724138	0,6084
17/10/2018 4:43	12,53	12,45	0,05382675	0,4096
17/10/2018 4:58	12,61	12,53	0,06234204	0,5476
17/10/2018 5:13	12,57	12,49	0,06615776	0,6084
17/10/2018 5:28	12,63	12,55	0,06762468	0,64
17/10/2018 5:43	12,76	12,68	0,05107084	0,3844
17/10/2018 5:58	12,8	12,72	0,0569777	0,4761
17/10/2018 6:13	12,77	12,69	0,07041073	0,7056
17/10/2018 6:28	13,17	13,09	0,06553398	0,6561
17/10/2018 6:43	13,6	13,52	0,0700236	0,7921
17/10/2018 6:58	14,01	13,93	0,0581571	0,5929
17/10/2018 7:13	14,12	14,04	0,05530643	0,5476
17/10/2018 7:28	14,97	14,89	0,06623932	0,8649
17/10/2018 7:43	14,88	14,80	0,08061002	1,2321
17/10/2018 7:58	16,5	16,42	0,06314433	0,9604
17/10/2018 8:13	18,42	18,34	0,02790179	0,25
17/10/2018 8:28	19,85	19,77	0,13169897	5,3361
17/10/2018 8:43	20,33	20,25	0,1139726	4,3264
17/10/2018 8:58	21,37	21,29	0,15264293	8,0089
17/10/2018 9:13	21,39	21,31	0,12106918	5,3361
17/10/2018 9:28	21,85	21,77	0,12223934	5,6644
17/10/2018 9:43	22,94	22,86	0,14072601	8,0089

17/10/2018 9:58	23,35	23,27	0,12638688	6,8644
17/10/2018 10:13	23,87	23,79	0,1514713	9,8596
17/10/2018 10:28	23,54	23,46	0,14494163	8,8804
17/10/2018 10:43	22,93	22,85	0,11799122	5,8564
17/10/2018 10:58	23,89	23,81	0,13330171	7,8961
17/10/2018 11:13	24,38	24,30	0,09180475	4,2025
17/10/2018 11:28	26,75	26,67	0,15600691	13,0321
17/10/2018 11:43	26,84	26,76	0,16190476	13,9876
17/10/2018 11:58	28,19	28,11	0,19753611	21,6225
17/10/2018 12:13	29,02	28,94	0,23227176	29,9209

Tabla 5.13 Tabla de errores de la Temperatura Ambiental del Nodo 001.

Error de 15 horas 60 datos	Valor (%)
Error Relativo	8,21662569
Error Cuadrático Medio	1,3434420
Raíz Error Cuadrático Medio	1,15906947

En la figura 5.14, se muestra el comportamiento del sensor, se destacan sus valores entre las 9 de la mañana y 14 horas, pues con mayor temperatura el sensor en presenta un gran error; en la figura 5.15 presenta una tendencia similar.

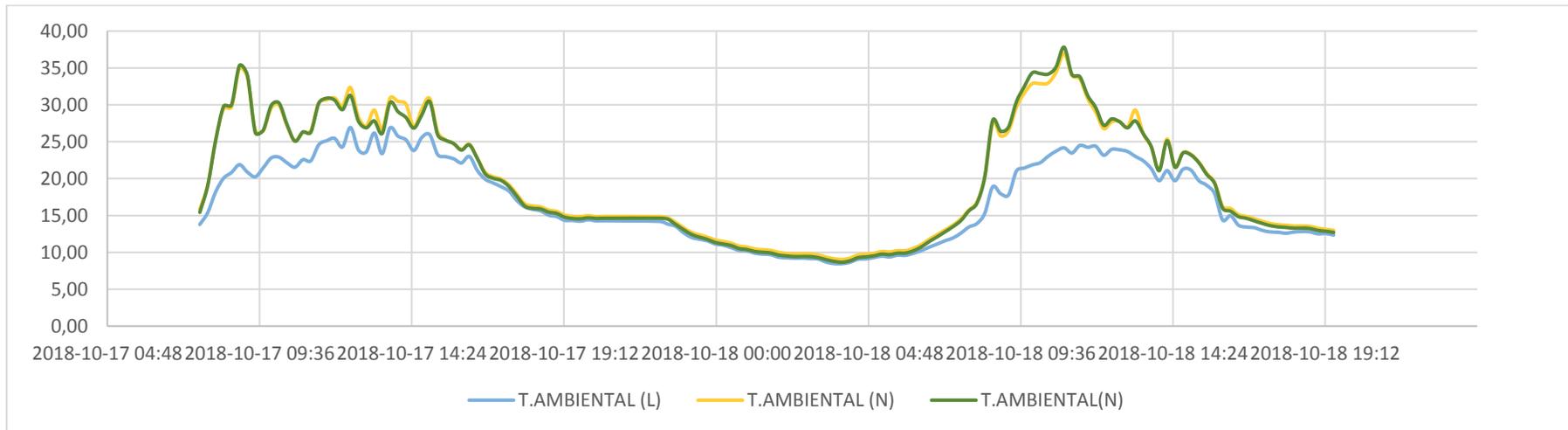


Figura 5.14 Gráfico del comportamiento de la Temperatura Ambiental del Nodo 000 comparado con Libelium.

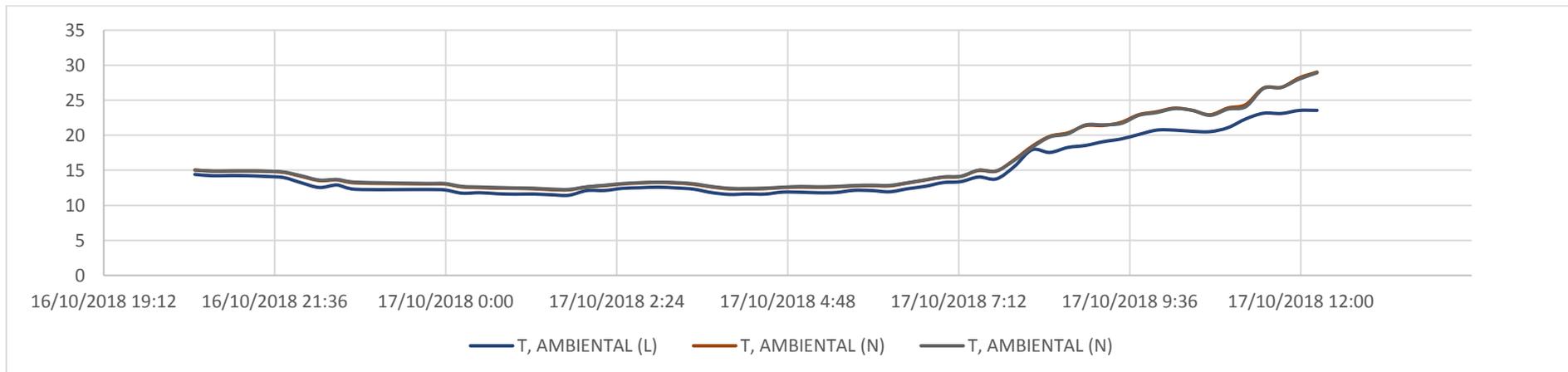


Figura 5.15 Gráfico del comportamiento de la Temperatura Ambiental del Nodo 001 comparado con Libelium.

5.3.1.4 Presión Ambiental

En las siguientes figuras se presentan las curvas de medición de presión ambiental, dado que el sitio donde se realizaron las pruebas es la ciudad de Cuenca en la universidad del Azuay, la presión se mantiene constante entre valores de 75350 y 75650.

En la tabla 5.14 de datos registrados, error mostrado es casi nulo dado que se mantienen los mismos valores durante el transcurso del tiempo; los errores relativos son de 0,01425564% y la raíz cuadrática media es de 13,4115278% como se ve en la tabla 5.15.

Tabla 5.14 Cuadro comparativo de la Presión entregado por el Nodo 000.

Fecha y Hora	PRESION (Nodo Referencia)	PRESION (Nodo Implementado)	Error Relativo	Diferencia Cuadrática
2018-10-17 07:42	75530,92	75549,00	0,00023937	326,8864
2018-10-17 07:57	75541,09	75556,60	0,00020537	240,684196
2018-10-17 08:12	75535,69	75564,60	0,00038273	835,7881
2018-10-17 08:27	75533,91	75545,30	0,00015079	129,7321
2018-10-17 08:42	75510,59	75538,90	0,00037497	801,682596
2018-10-17 08:57	75515,72	75519,30	4,7407E-05	12,8164
2018-10-17 09:12	75517,47	75505,90	0,00015321	133,8649
2018-10-17 09:27	75503,83	75506,00	2,874E-05	4,7089
2018-10-17 09:42	75501,19	75504,00	3,7218E-05	7,8961
2018-10-17 09:57	75486,23	75503,70	0,00023138	305,061156
2018-10-17 10:12	75482,91	75490,60	0,00010182	59,074596
2018-10-17 10:27	75468,56	75466,30	2,9946E-05	5,1076
2018-10-17 10:42	75463,52	75461,80	2,2739E-05	2,944656
2018-10-17 10:57	75445,94	75440,60	7,0779E-05	28,5156
2018-10-17 11:12	75434,58	75435,10	6,8934E-06	0,2704
2018-10-17 11:27	75410,91	75422,90	0,000159	143,7601
2018-10-17 11:42	75399,42	75406,00	8,7269E-05	43,2964
2018-10-17 11:57	75380,94	75390,10	0,00012152	83,9056
2018-10-17 12:12	75363,20	75356,30	9,1557E-05	47,61
2018-10-17 12:27	75330,34	75332,50	2,8674E-05	4,6656
2018-10-17 12:42	75309,55	75303,40	8,1663E-05	37,8225

2018-10-17 12:57	75285,04	75278,90	8,1557E-05	37,6996
2018-10-17 13:12	75259,62	75276,90	0,00022961	298,5984
2018-10-17 13:27	75251,56	75246,00	7,3886E-05	30,9136
2018-10-17 13:42	75225,63	75231,70	8,0757E-05	36,905625
2018-10-17 13:57	75188,23	75199,00	0,00014319	115,906756
2018-10-17 14:12	75159,54	75172,80	0,00017642	175,8276
2018-10-17 14:27	75136,66	75136,40	3,4604E-06	0,0676
2018-10-17 14:42	75129,92	75131,50	2,103E-05	2,4964
2018-10-17 14:57	75112,83	75095,50	0,00023072	300,3289
2018-10-17 15:12	75103,09	75090,50	0,00016764	158,5081
2018-10-17 15:27	75084,10	75069,30	0,00019711	219,04
2018-10-17 15:42	75076,45	75067,80	0,00011522	74,8225
2018-10-17 15:57	75081,93	75072,50	0,0001256	88,9249
2018-10-17 16:12	75075,39	75066,70	0,00011575	75,5161
2018-10-17 16:27	75100,83	75084,70	0,00021478	260,1769
2018-10-17 16:42	75100,04	75086,00	0,00018695	197,1216
2018-10-17 16:57	75112,47	75106,90	7,4155E-05	31,0249
2018-10-17 17:12	75142,41	75140,60	2,4088E-05	3,2761
2018-10-17 17:27	75154,50	75149,90	6,1207E-05	21,16
2018-10-17 17:42	75180,18	75173,10	9,4174E-05	50,1264
2018-10-17 17:57	75203,70	75181,90	0,00028988	475,24
2018-10-17 18:12	75221,75	75215,60	8,1758E-05	37,8225
2018-10-17 18:27	75260,36	75244,90	0,00020542	239,0116
2018-10-17 18:42	75283,37	75287,30	5,2203E-05	15,4449
2018-10-17 18:57	75306,11	75289,50	0,00022057	275,8921
2018-10-17 19:12	75319,58	75332,90	0,00017685	177,4224
2018-10-17 19:27	75345,53	75344,90	8,3615E-06	0,3969
2018-10-17 19:42	75360,59	75365,80	6,9134E-05	27,1441
2018-10-17 19:57	75371,59	75374,20	3,4628E-05	6,8121
2018-10-17 20:12	75399,88	75408,30	0,00011167	70,8964
2018-10-17 20:27	75413,20	75422,70	0,00012597	90,25
2018-10-17 22:12	75486,83	75481,70	6,7959E-05	26,3169
2018-10-17 22:27	75471,23	75479,90	0,00011488	75,1689

2018-10-17 22:42	75475,19	75480,90	7,5654E-05	32,6041
2018-10-17 22:57	75471,78	75483,40	0,00015396	135,0244
2018-10-17 23:12	75469,67	75475,90	8,255E-05	38,8129
2018-10-17 23:27	75461,54	75465,50	5,2477E-05	15,6816
2018-10-17 23:42	75448,69	75455,10	8,4958E-05	41,0881
2018-10-17 23:57	75438,57	75433,60	6,5881E-05	24,7009
2018-10-18 00:12	75421,27	75437,60	0,00021657	266,799556
2018-10-18 00:27	75411,72	75421,40	0,00012836	93,7024
2018-10-18 00:42	75396,45	75409,10	0,00016778	160,0225
2018-10-18 00:57	75392,20	75404,50	0,00016315	151,29
2018-10-18 01:12	75384,67	75381,00	4,8684E-05	13,4689
2018-10-18 01:27	75377,56	75380,80	4,2984E-05	10,4976
2018-10-18 01:42	75375,36	75387,70	0,00016371	152,2756
2018-10-18 01:57	75382,76	75393,70	0,00014513	119,6836
2018-10-18 02:12	75389,36	75392,30	3,8998E-05	8,6436
2018-10-18 02:27	75387,14	75396,00	0,00011753	78,4996
2018-10-18 02:42	75389,03	75397,10	0,00010704	65,1249
2018-10-18 02:57	75388,09	75389,90	2,4062E-05	3,290596
2018-10-18 03:12	75384,61	75399,50	0,00019752	221,7121
2018-10-18 03:27	75386,39	75395,60	0,00012217	84,8241
2018-10-18 03:42	75377,83	75389,60	0,00015615	138,5329
2018-10-18 03:57	75388,52	75404,00	0,00020534	239,6304
2018-10-18 04:12	75399,91	75406,70	9E-05	46,049796
2018-10-18 04:27	75410,27	75425,10	0,00019671	220,047556
2018-10-18 04:42	75423,36	75435,20	0,00015698	140,1856
2018-10-18 04:57	75425,44	75448,10	0,00030043	513,4756
2018-10-18 05:12	75435,24	75457,40	0,00029376	491,0656
2018-10-18 05:27	75446,10	75469,30	0,0003075	538,24
2018-10-18 05:42	75450,38	75476,30	0,00034354	671,8464
2018-10-18 05:57	75463,95	75483,40	0,00025774	378,3025
2018-10-18 06:12	75487,31	75510,90	0,0003125	556,4881
2018-10-18 06:27	75500,75	75531,20	0,00040331	927,2025
2018-10-18 06:42	75517,19	75542,40	0,00033383	635,5441

2018-10-18 06:57	75546,20	75557,20	0,00014561	121
2018-10-18 07:12	75554,16	75585,80	0,00041872	1000,8365
2018-10-18 07:27	75573,16	75596,10	0,00030349	526,060096
2018-10-18 07:42	75595,36	75625,70	0,00040135	920,5156
2018-10-18 07:57	75594,88	75625,80	0,00040902	956,0464
2018-10-18 08:12	75604,96	75624,80	0,00026242	393,6256
2018-10-18 08:27	75611,09	75631,50	0,00026993	416,5681
2018-10-18 08:42	75588,81	75622,10	0,00044041	1108,2241
2018-10-18 08:57	75585,80	75609,90	0,00031884	580,81
2018-10-18 09:12	75582,81	75586,00	4,2272E-05	10,208025
2018-10-18 09:27	75566,25	75589,30	0,00030503	531,3025
2018-10-18 09:42	75541,36	75562,50	0,00027985	446,8996
2018-10-18 09:57	75530,47	75537,70	9,5723E-05	52,2729
2018-10-18 10:12	75509,32	75515,50	8,1844E-05	38,1924
2018-10-18 10:27	75506,97	75511,30	5,7346E-05	18,7489
2018-10-18 10:42	75492,03	75500,50	0,0001122	71,7409
2018-10-18 10:58	75461,95	75467,70	7,6264E-05	33,120025
2018-10-18 11:12	75442,05	75440,00	2,7173E-05	4,2025
2018-10-18 11:27	75410,67	75411,50	1,1006E-05	0,6889
2018-10-18 11:42	75392,39	75390,40	2,6395E-05	3,9601
2018-10-18 11:57	75376,90	75351,90	0,00033167	625
2018-10-18 12:12	75351,14	75346,90	5,627E-05	17,9776
2018-10-18 12:27	75320,02	75322,70	3,5635E-05	7,203856
2018-10-18 12:42	75280,00	75276,70	4,3836E-05	10,89
2018-10-18 12:57	75278,80	75267,10	0,00015542	136,89
2018-10-18 13:12	75253,91	75276,90	0,0003055	528,5401
2018-10-18 13:27	75234,56	75230,40	5,5294E-05	17,3056
2018-10-18 13:42	75213,20	75188,80	0,00032441	595,36
2018-10-18 13:57	75200,34	75193,80	8,6968E-05	42,7716
2018-10-18 14:12	75178,95	75174,30	6,1786E-05	21,576025
2018-10-18 14:27	75154,69	75149,60	6,7727E-05	25,9081
2018-10-18 14:42	75126,81	75126,60	2,7953E-06	0,0441
2018-10-18 14:57	75124,90	75116,60	0,00011048	68,89

2018-10-18 15:12	75120,55	75123,90	4,4595E-05	11,2225
2018-10-18 15:27	75128,47	75118,90	0,00012738	91,5849
2018-10-18 15:42	75155,48	75150,00	7,2969E-05	30,074256
2018-10-18 15:57	75184,21	75170,90	0,00017703	177,1561
2018-10-18 16:12	75221,98	75210,10	0,00015799	141,229456
2018-10-18 16:27	75258,16	75240,30	0,00023737	319,122496
2018-10-18 16:42	75257,06	75254,00	4,0661E-05	9,3636
2018-10-18 16:57	75279,34	75268,10	0,00014931	126,3376
2018-10-18 17:12	75287,22	75283,30	5,2067E-05	15,3664
2018-10-18 17:27	75310,77	75316,70	7,8794E-05	35,212356
2018-10-18 17:42	75339,32	75342,40	4,0882E-05	9,4864
2018-10-18 17:57	75348,63	75347,80	1,0949E-05	0,680625
2018-10-18 18:12	75370,01	75380,20	0,0001352	103,8361
2018-10-18 18:27	75391,83	75403,30	0,00015214	131,5609
2018-10-18 18:42	75404,20	75408,80	6,1005E-05	21,16
2018-10-18 18:57	75436,73	75429,90	9,0592E-05	46,703556
2018-10-18 19:12	75451,91	75456,70	6,3431E-05	22,905796
2018-10-18 19:27	75455,53	75460,90	7,1168E-05	28,8369

Tabla 5.15 Tabla de errores de la Presión del Nodo 000.

Valor (%)	Error de 36 horas 144 datos	Error de 15 horas 60 datos
Error Relativo	0,0142556	0,13949065
Error Cuadrático Medio	179,86908	11206,9323
Raíz Error Cuadrático Medio	13,411528	105,862799

En la tabla 5.16 se encuentran los datos del nodo 001 y en la tabla 5.17 se encuentran los errores de medición del sistema, el error realtivo es de 0,01425564% y la raíz cuadrática media es de 16,8951608%.

Tabla 5.16 Cuadro comparativo de la Presión entregado por el Nodo 001.

Fecha y Hora	PRESION (Nodo Referencia)	PRESION (Nodo Implementado)	Error relativo	Diferencia Cuadrática
16/10/2018 20:28	75451,31	75439,4	0,000157 85	141,8481
16/10/2018 20:43	75470,03	75456,5	0,000179 28	183,0609
16/10/2018 20:58	75486,97	75464,1	0,000302 97	523,0369
16/10/2018 21:13	75512,73	75490,4	0,000295 71	498,6289
16/10/2018 21:28	75516,73	75502,6	0,000187 11	199,6569
16/10/2018 21:43	75518,25	75510,7	9,9976E- 05	57,0025
16/10/2018 21:58	75519,41	75505,7	0,000181 54	187,9641
16/10/2018 22:13	75530,59	75534,6	5,3091E- 05	16,0801
16/10/2018 22:28	75527,15	75524,9	2,9791E- 05	5,0625
16/10/2018 22:43	75531,23	75524,4	9,0426E- 05	46,6489
16/10/2018 23:43	75498,11	75490,3	0,000103 45	60,9961
16/10/2018 23:58	75486,77	75479,4	9,7633E- 05	54,3169
17/10/2018 0:13	75450,34	75449	1,776E- 05	1,7956
17/10/2018 0:28	75420,1	75424,9	6,3644E- 05	23,04
17/10/2018 0:43	75394,08	75390,6	4,6157E- 05	12,1104
17/10/2018 0:58	75380,95	75382,4	1,9236E- 05	2,1025
17/10/2018 1:13	75378,65	75375,5	4,1789E- 05	9,9225
17/10/2018 1:28	75369,3	75378,3	0,000119 41	81
17/10/2018 1:43	75379,47	75387,3	0,000103 87	61,3089
17/10/2018 1:58	75393,78	75394,2	5,5708E- 06	0,1764
17/10/2018 2:13	75386,73	75396,9	0,000134 9	103,4289
17/10/2018 2:28	75386,97	75395,1	0,000107 84	66,0969

17/10/2018 2:43	75387,13	75385,8	1,7642E-05	1,7689
17/10/2018 2:58	75381,63	75389,5	0,0001044	61,9369
17/10/2018 3:13	75364,91	75374,9	0,00013256	99,8001
17/10/2018 3:28	75352,47	75362,5	0,00013311	100,6009
17/10/2018 3:43	75353,64	75360,9	9,6346E-05	52,7076
17/10/2018 3:58	75367,33	75371	4,8695E-05	13,4689
17/10/2018 4:13	75388,07	75398,6	0,00013968	110,8809
17/10/2018 4:28	75391,58	75404,8	0,00017535	174,7684
17/10/2018 4:43	75407,59	75416	0,00011153	70,7281
17/10/2018 4:58	75427,3	75440,8	0,00017898	182,25
17/10/2018 5:13	75441,61	75451,7	0,00013375	101,8081
17/10/2018 5:28	75444,36	75447,8	4,5597E-05	11,8336
17/10/2018 5:43	75451,77	75469,8	0,00023896	325,0809
17/10/2018 5:58	75458,8	75476,8	0,00023854	324
17/10/2018 6:13	75475,59	75486,4	0,00014323	116,8561
17/10/2018 6:28	75492,97	75502,2	0,00012226	85,1929
17/10/2018 6:43	75513,75	75523,7	0,00013176	99,0025
17/10/2018 6:58	75532,81	75536,8	5,2825E-05	15,9201
17/10/2018 7:13	75558,23	75560,2	2,6073E-05	3,8809
17/10/2018 7:28	75565,8	75579,9	0,00018659	198,81
17/10/2018 7:43	75586,71	75599,4	0,00016789	161,0361
17/10/2018 7:58	75614,22	75608,7	7,3002E-05	30,4704
17/10/2018 8:13	75607,91	75606,5	1,8649E-05	1,9881
17/10/2018 8:28	75605,3	75603,3	2,6453E-05	4
17/10/2018 8:43	75592,53	75589,3	4,2729E-05	10,4329
17/10/2018 8:58	75590,27	75577,8	0,00016497	155,5009
17/10/2018 9:13	75588,56	75578,4	0,00013441	103,2256

17/10/2018 9:28	75577,22	75561,9	0,000202 71	234,7024
17/10/2018 9:43	75577,73	75566	0,000155 2	137,5929
17/10/2018 9:58	75564,97	75544,4	0,000272 22	423,1249
17/10/2018 10:13	75560,47	75529,8	0,000405 9	940,6489
17/10/2018 10:28	75543,48	75522	0,000284 34	461,3904
17/10/2018 10:43	75536,91	75515,4	0,000284 76	462,6801
17/10/2018 10:58	75521,92	75487,3	0,000458 41	1198,5444
17/10/2018 11:13	75516,16	75480,2	0,000476 19	1293,1216
17/10/2018 11:28	75495,13	75454,1	0,000543 48	1683,4609
17/10/2018 11:43	75472,6	75432,2	0,000535 29	1632,16
17/10/2018 11:58	75463,88	75416,4	0,000629 18	2254,3504
17/10/2018 12:13	75434,68	75393	0,000552 53	1737,2224

Tabla 5.17 Tabla de errores de la Presión del Nodo 001.

Error de 15 horas 60 datos	Valor (%)
Error Relativo	0,01692654
Error Cuadrático Medio	285,446459
Raíz Error Cuadrático Medio	16,8951608

Las figuras 5.16 y 5.17 representan las curvas de funcionamiento de los sensores de presión ambiental, de los distintos nodos, cabe recalcar el correcto funcionamiento y el comportamiento igual en los cambios de presión durante un periodo de tiempo.

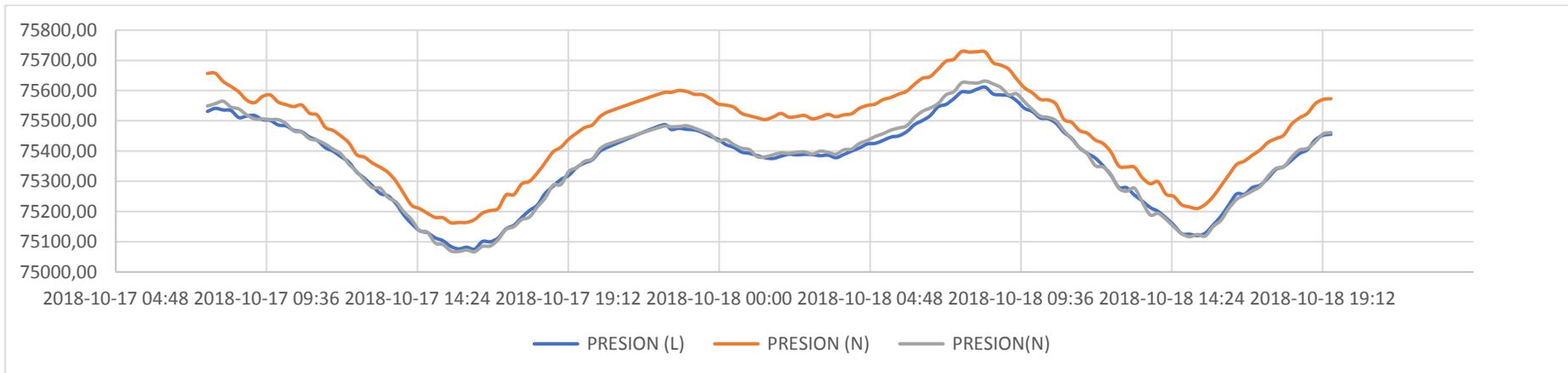


Figura 5.16: Gráfico del comportamiento de la Presión del Nodo 000 comparado con Libelium.

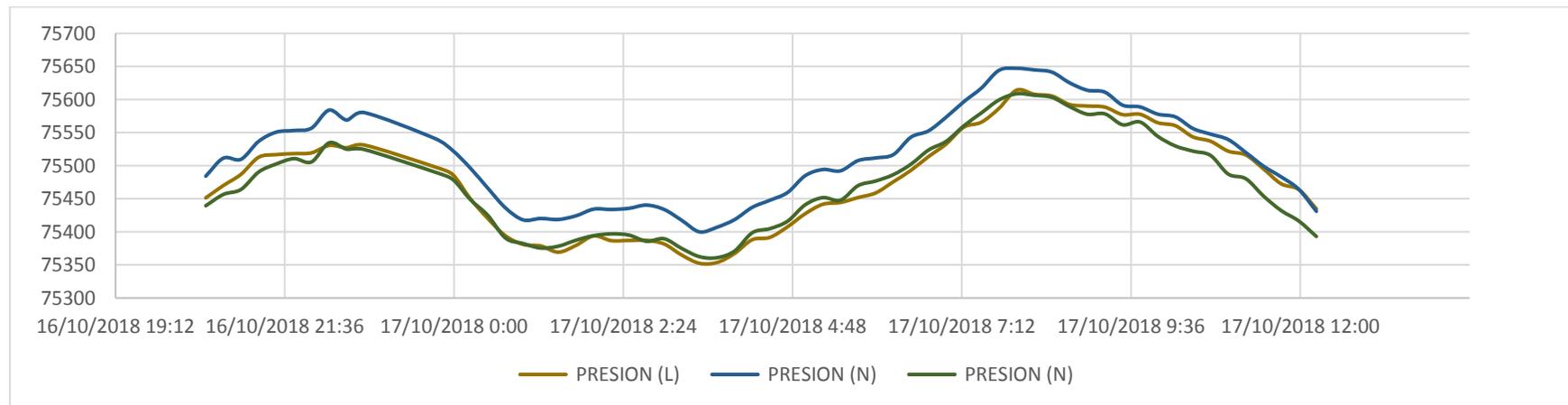


Figura 5.17: Gráfico del comportamiento de la Presión del Nodo 001 comparado con Libelium.

5.3.1.5 Humedad del Suelo

En la tabla 5.18 se muestran los datos registrados del nodo 000; en la tabla 5.19 se encuentra un error relativo de 5,8709581% y la raíz cuadrática media de 6,23246465%.

Tabla 5.18 Cuadro comparativo de la Humedad del Suelo entregado por el Nodo 000.

Fecha y Hora	H, SUELO (Nodo Referencia)	H, SUELO (Nodo Implementado)	Error Relativo	Diferencia Cuadrática
2018-10-17 07:42	82,82	80,24	0,03118219	6,66977111
2018-10-17 07:57	82,75	80,28	0,02989642	6,1209234
2018-10-17 08:12	82,35	80,24	0,02556543	4,43182494
2018-10-17 08:27	81,59	80,10	0,01834343	2,24008096
2018-10-17 08:42	80,91	79,94	0,01189217	0,92573262
2018-10-17 08:57	80,10	79,34	0,00946949	0,57536776
2018-10-17 09:12	79,35	79,10	0,00323224	0,06578507
2018-10-17 09:27	79,50	79,08	0,00533181	0,17969121
2018-10-17 09:42	79,39	78,98	0,00521827	0,17162792
2018-10-17 09:57	78,89	78,69	0,00255092	0,04049754
2018-10-17 10:12	78,39	78,35	0,00054187	0,00180455
2018-10-17 10:27	78,30	78,30	3,4484E-06	7,29E-08
2018-10-17 10:42	78,43	78,26	0,00213397	0,02801272
2018-10-17 10:57	78,33	78,17	0,00210728	0,0272481
2018-10-17 11:12	78,20	78,10	0,00120604	0,00889438
2018-10-17 11:27	77,82	77,84	0,00024397	0,00036047
2018-10-17 11:42	77,44	77,78	0,00439928	0,11604924
2018-10-17 11:57	77,15	77,66	0,00657705	0,25746491
2018-10-17 12:12	76,95	77,52	0,0074499	0,32861098
2018-10-17 12:27	76,73	77,44	0,00919812	0,49816776
2018-10-17 12:42	76,73	77,40	0,00867684	0,44330296
2018-10-17 12:57	76,84	77,42	0,00749185	0,33140286
2018-10-17 13:12	76,65	77,30	0,00840358	0,41492922
2018-10-17 13:27	76,60	77,16	0,00724667	0,30816932
2018-10-17 13:42	76,43	77,19	0,00998008	0,58181807
2018-10-17 13:57	76,01	76,97	0,01259095	0,9159447
2018-10-17 14:12	75,56	76,77	0,01594776	1,4521696

2018-10-17 14:27	75,67	76,86	0,01572889	1,41643322
2018-10-17 14:42	75,49	76,79	0,01718682	1,6835322
2018-10-17 14:57	75,15	76,54	0,01838796	1,90973052
2018-10-17 15:12	75,41	76,71	0,01720114	1,68277973
2018-10-17 15:27	75,79	76,80	0,01329916	1,01600352
2018-10-17 15:42	76,06	76,90	0,01102854	0,70358544
2018-10-17 15:57	76,34	77,01	0,00880477	0,45174529
2018-10-17 16:12	76,56	77,14	0,00755049	0,3341418
2018-10-17 16:27	76,85	77,24	0,0050469	0,15043926
2018-10-17 16:42	77,29	77,46	0,00222922	0,02968729
2018-10-17 16:57	77,74	77,62	0,0015478	0,0144769
2018-10-17 17:12	78,10	77,75	0,00446335	0,12151499
2018-10-17 17:27	78,46	77,91	0,00693365	0,29592077
2018-10-17 17:42	78,91	78,06	0,01077297	0,72273802
2018-10-17 17:57	79,44	78,22	0,01541696	1,49997582
2018-10-17 18:12	79,88	78,41	0,01848864	2,18142266
2018-10-17 18:27	80,31	78,55	0,02187057	3,08490583
2018-10-17 18:42	80,71	78,66	0,02535304	4,18713906
2018-10-17 18:57	81,09	78,78	0,02853428	5,35385555
2018-10-17 19:12	81,45	78,92	0,03102024	6,38315172
2018-10-17 19:27	81,81	79,02	0,03401059	7,741082
2018-10-17 19:42	82,10	79,14	0,03612356	8,79602896
2018-10-17 19:57	82,40	79,24	0,03834339	9,98228228
2018-10-17 20:12	82,66	79,31	0,04048342	11,1976568
2018-10-17 20:27	82,92	79,38	0,04272544	12,5510067
2018-10-17 22:12	84,56	79,78	0,05652177	22,8431423
2018-10-17 22:27	84,77	79,83	0,05832532	24,4480803
2018-10-17 22:42	85,03	79,88	0,06061116	26,5638191
2018-10-17 22:57	85,31	79,94	0,06294338	28,8334633
2018-10-17 23:12	85,60	79,99	0,06555681	31,4920748
2018-10-17 23:27	85,90	80,04	0,06817438	34,2915648
2018-10-17 23:42	86,16	80,06	0,07082364	37,2384314
2018-10-17 23:57	86,43	80,13	0,07289586	39,6952922

2018-10-18 00:12	86,70	80,20	0,07497319	42,25247
2018-10-18 00:27	86,94	80,27	0,07673444	44,507578
2018-10-18 00:42	87,21	80,31	0,07916551	47,6703251
2018-10-18 00:57	87,44	80,36	0,08100302	50,1711556
2018-10-18 01:12	87,70	80,40	0,08327918	53,3471013
2018-10-18 01:27	87,94	80,47	0,08489516	55,7304055
2018-10-18 01:42	88,18	80,49	0,08724338	59,1887113
2018-10-18 01:57	88,43	80,54	0,0892537	62,2989754
2018-10-18 02:12	88,67	80,61	0,09088043	64,9346678
2018-10-18 02:27	88,89	80,63	0,09291246	68,2091814
2018-10-18 02:42	89,09	80,66	0,09467214	71,1457667
2018-10-18 02:57	89,30	80,71	0,09620941	73,8166216
2018-10-18 03:12	89,53	80,76	0,09791075	76,8341656
2018-10-18 03:27	89,73	80,76	0,1000105	80,5394964
2018-10-18 03:42	89,96	80,80	0,10182723	83,9132946
2018-10-18 03:57	90,19	80,83	0,10375696	87,5644906
2018-10-18 04:12	90,38	80,86	0,10536495	90,6917954
2018-10-18 04:27	90,53	80,86	0,10682045	93,5187637
2018-10-18 04:42	90,68	80,91	0,10772454	95,419216
2018-10-18 04:57	90,79	80,90	0,10896735	97,8819359
2018-10-18 05:12	90,91	80,93	0,10976999	99,5822372
2018-10-18 05:27	91,06	80,96	0,11089733	101,971624
2018-10-18 05:42	91,19	80,95	0,11230232	104,87718
2018-10-18 05:57	91,34	80,98	0,11343092	107,347834
2018-10-18 06:12	91,42	80,97	0,11435012	109,29427
2018-10-18 06:27	91,51	80,99	0,11494125	110,629376
2018-10-18 06:42	91,52	80,98	0,11521249	111,192807
2018-10-18 06:57	91,54	81,00	0,115156	111,124487
2018-10-18 07:12	91,52	80,99	0,11510323	110,982011
2018-10-18 07:27	91,51	80,98	0,11505053	110,839837
2018-10-18 07:42	91,42	80,94	0,11467826	109,922434
2018-10-18 07:57	91,27	80,94	0,11322133	106,79538
2018-10-18 08:12	91,07	80,86	0,11215723	104,339769

2018-10-18 08:27	90,66	80,79	0,10888634	97,4531263
2018-10-18 08:42	89,59	80,65	0,09978467	79,917807
2018-10-18 08:57	89,17	80,46	0,0977216	75,9381531
2018-10-18 09:12	88,62	80,16	0,09547456	71,5894686
2018-10-18 09:27	88,07	79,94	0,09236121	66,1730838
2018-10-18 09:42	87,03	79,46	0,08700458	57,3382128
2018-10-18 09:57	85,93	79,06	0,0798997	47,1339231
2018-10-18 10:12	85,09	78,64	0,07582268	41,626962
2018-10-18 10:27	83,99	78,18	0,06918891	33,7707893
2018-10-18 10:42	83,00	77,73	0,06350898	27,78692
2018-10-18 10:58	82,36	77,41	0,06008784	24,4902255
2018-10-18 11:12	81,95	77,17	0,05837168	22,8845511
2018-10-18 11:27	81,39	76,90	0,0552066	20,1911468
2018-10-18 11:42	81,22	76,79	0,05456149	19,6388127
2018-10-18 11:57	81,20	76,79	0,05425432	19,4056989
2018-10-18 12:12	81,43	76,78	0,05714166	21,6525494
2018-10-18 12:27	81,47	76,81	0,05723403	21,7438488
2018-10-18 12:42	81,46	76,84	0,05671217	21,3421825
2018-10-18 12:57	81,61	76,94	0,05717717	21,771556
2018-10-18 13:12	81,79	76,62	0,06324388	26,7588944
2018-10-18 13:27	81,73	77,12	0,05635963	21,2156966
2018-10-18 13:42	81,79	77,17	0,05651958	21,3712044
2018-10-18 13:57	82,45	77,42	0,06105029	25,3394445
2018-10-18 14:12	82,26	77,37	0,05949025	23,9502572
2018-10-18 14:27	82,71	77,58	0,06205773	26,3474837
2018-10-18 14:42	82,85	77,66	0,06264383	26,9365567
2018-10-18 14:57	82,96	77,73	0,06304259	27,3530464
2018-10-18 15:12	83,14	77,84	0,06374046	28,0830044
2018-10-18 15:27	83,49	77,96	0,0661951	30,5409864
2018-10-18 15:42	83,91	78,04	0,06991922	34,4180516
2018-10-18 15:57	84,72	78,25	0,07633705	41,8227357
2018-10-18 16:12	85,31	78,42	0,08076082	47,4676905
2018-10-18 16:27	85,84	78,58	0,084543	52,6627427

2018-10-18 16:42	86,27	78,69	0,08782551	57,4016854
2018-10-18 16:57	86,73	78,84	0,09097481	62,2563607
2018-10-18 17:12	87,15	78,99	0,09366873	66,6437772
2018-10-18 17:27	87,57	79,12	0,0964496	71,3294093
2018-10-18 17:42	87,94	79,25	0,098769	75,4340887
2018-10-18 17:57	88,28	79,37	0,10089658	79,3316206
2018-10-18 18:12	88,62	79,46	0,10337336	83,924947
2018-10-18 18:27	88,95	79,56	0,10558644	88,2122938
2018-10-18 18:42	89,27	79,67	0,10753668	92,1556801
2018-10-18 18:57	89,59	79,76	0,10971885	96,6225303
2018-10-18 19:12	89,88	79,84	0,11170015	100,792765
2018-10-18 19:27	90,19	79,91	0,11395792	105,628856

Tabla 5.19 Tabla de errores de la Humedad del Suelo del Nodo 000.

Valor (%)	Error de 36 horas 144 datos	Error de 15 horas 60 datos
Error Relativo	5,8709581	7,1553445
Error Cuadrático Medio	38,843616	44,7606411
Raíz Error Cuadrático Medio	6,2324647	6,69033939

En la tabla 5.20, se presentan los datos del nodo 001, al igual que en el resto de sensores se muestran los distintos valores medidos y calculados; en la tabla 5.21 se muestra el error de medición en el nodo destacando un error relativo del 8,23936316% y una raíz cuadrática media de 6,68812946%.

Tabla 5.20 Cuadro comparativo de la Humedad del Suelo entregado por el Nodo 001.

Fecha y Hora	H, SUELO (Nodo Referencia)	H, SUELO (Nodo Implementado)	Error Relativo	Diferencia Cuadrático
16/10/2018 20:28	69,68	79,824	0,14557979	102,900736
16/10/2018 20:43	69,79	79,824	0,14377418	100,681156
16/10/2018 20:58	69,93	79,832	0,14159874	98,049604
16/10/2018 21:13	70,07	79,856	0,13966034	95,765796
16/10/2018 21:28	70,2	79,496	0,13242165	86,415616
16/10/2018 21:43	70,4	78,416	0,11386364	64,256256
16/10/2018 21:58	70,53	79,312	0,12451439	77,123524
16/10/2018 22:13	70,69	79,744	0,12808035	81,974916
16/10/2018 22:28	70,86	79,92	0,12785775	82,0836

16/10/2018 22:43	70,99	80,08	0,1280462	82,6281
16/10/2018 23:43	71,55	80,448	0,12436059	79,174404
16/10/2018 23:58	71,68	80,48	0,12276786	77,44
17/10/2018 0:13	71,81	80,536	0,12151511	76,143076
17/10/2018 0:28	71,94	80,584	0,12015569	74,718736
17/10/2018 0:43	72,1	80,632	0,11833564	72,795024
17/10/2018 0:58	72,22	80,656	0,11680975	71,166096
17/10/2018 1:13	72,36	80,688	0,11509121	69,355584
17/10/2018 1:28	72,5	80,712	0,11326897	67,436944
17/10/2018 1:43	72,63	80,744	0,11171692	65,836996
17/10/2018 1:58	72,76	80,744	0,10973062	63,744256
17/10/2018 2:13	72,88	80,744	0,1079034	61,842496
17/10/2018 2:28	72,97	80,744	0,10653693	60,435076
17/10/2018 2:43	73,09	80,744	0,10472021	58,583716
17/10/2018 2:58	73,2	80,744	0,10306011	56,911936
17/10/2018 3:13	73,31	80,736	0,10129587	55,145476
17/10/2018 3:28	73,44	80,768	0,09978214	53,699584
17/10/2018 3:43	73,56	80,784	0,09820555	52,186176
17/10/2018 3:58	73,7	80,808	0,09644505	50,523664
17/10/2018 4:13	73,83	80,84	0,09494785	49,1401
17/10/2018 4:28	73,96	80,84	0,09302326	47,3344
17/10/2018 4:43	74,1	80,872	0,09139001	45,859984
17/10/2018 4:58	74,19	80,872	0,09006605	44,649124
17/10/2018 5:13	74,33	80,872	0,08801292	42,797764
17/10/2018 5:28	74,44	80,872	0,08640516	41,370624
17/10/2018 5:43	74,56	80,872	0,08465665	39,841344
17/10/2018 5:58	74,67	80,864	0,08295165	38,365636
17/10/2018 6:13	74,77	80,896	0,08193126	37,527876
17/10/2018 6:28	74,88	80,896	0,08034188	36,192256
17/10/2018 6:43	75,01	80,864	0,07804293	34,269316
17/10/2018 6:58	75,1	80,84	0,07643142	32,9476
17/10/2018 7:13	75,18	80,824	0,07507316	31,854736
17/10/2018 7:28	75,26	80,728	0,0726548	29,899024

17/10/2018 7:43	75,34	80,704	0,07119724	28,772496
17/10/2018 7:58	75,44	80,688	0,06956522	27,541504
17/10/2018 8:13	75,51	80,592	0,06730234	25,826724
17/10/2018 8:28	75,54	79,928	0,05808843	19,254544
17/10/2018 8:43	75,52	79,048	0,0467161	12,446784
17/10/2018 8:58	75,39	77,248	0,02464518	3,452164
17/10/2018 9:13	75,37	77,616	0,02979966	5,044516
17/10/2018 9:28	75,37	77,448	0,02757065	4,318084
17/10/2018 9:43	75,48	77,064	0,02098569	2,509056
17/10/2018 9:58	75,53	76,576	0,0138488	1,094116
17/10/2018 10:13	75,53	76,288	0,01003575	0,574564
17/10/2018 10:28	75,53	76,24	0,00940024	0,5041
17/10/2018 10:43	75,56	76,848	0,01704606	1,658944
17/10/2018 10:58	75,67	76,512	0,01112726	0,708964
17/10/2018 11:13	75,73	76,208	0,0063119	0,228484
17/10/2018 11:28	75,78	75,048	0,00965954	0,535824
17/10/2018 11:43	75,72	74,888	0,01098785	0,692224
17/10/2018 11:58	75,69	74,656	0,01366099	1,069156
17/10/2018 12:13	75,69	74,552	0,01503501	1,295044

Tabla 5.21 Tabla de errores de Humedad del Suelo del Nodo 001.

Error de 15 horas 60 datos	Valor (%)
Error Relativo	8,23936316
Error Cuadrático Medio	44,7310757
Raíz Error Cuadrático Medio	6,68812946

Los sensores de humedad del suelo presentan graficas de tendencia similar pero sus valores son diferentes entre sí, estos valores son muy relativos ya que dependen el punto donde estén ubicados; en las figuras 5.18 y 5.19 se aprecian las curvas de lectura de sensores; las líneas azules representan Libelium mientras la otra es el nodo de este proyecto.

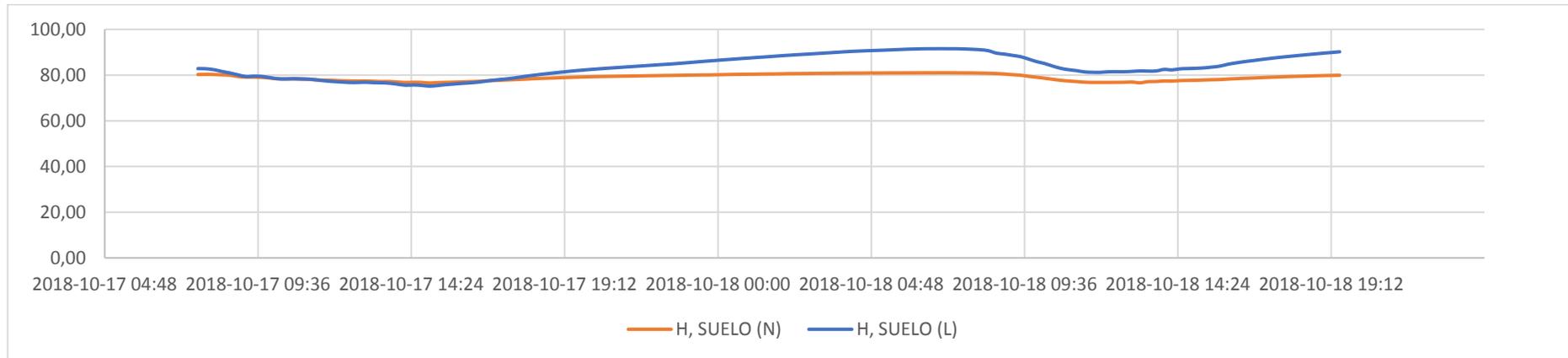


Figura 5.18 Gráfico del comportamiento de la Humedad del Suelo del Nodo 000 comparado con Libelium.

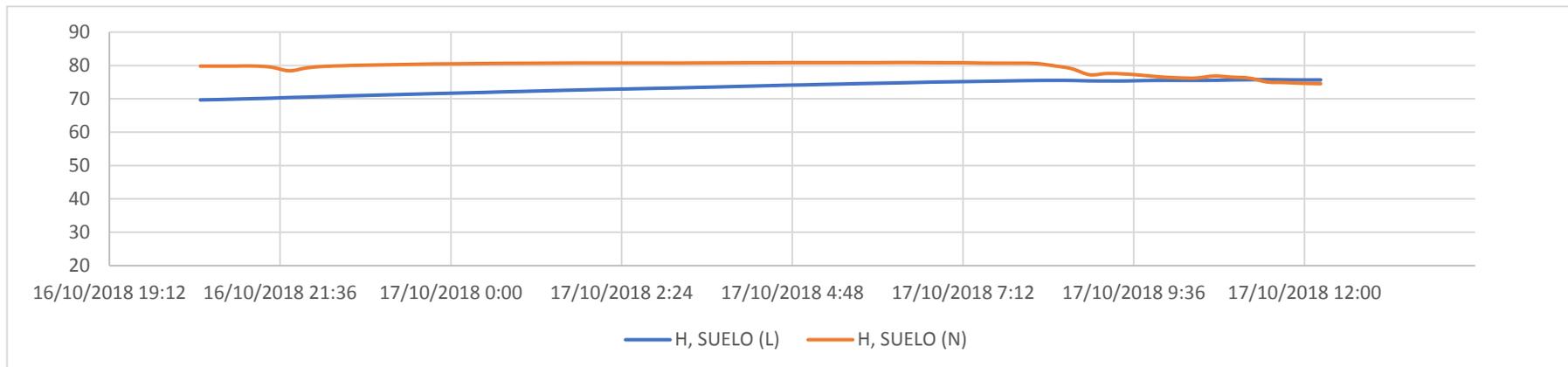


Figura 5.19 Gráfico del comportamiento de la Humedad del Suelo del Nodo 001 comparado con Libelium.

5.3.1.6 Sensor de luminosidad

El sensor de luminosidad, a diferencia de los sensores anteriores se compara con valores de un luxómetro; estos valores son parecidos en su totalidad, la figura 5.20 se muestra el comportamiento de ambos equipos. La tabla 5.22 muestra las mediciones de luxes de 24 datos tomados desde las 14h40 hasta las 18h40 del mismo día, y tomados entre sí para corroborar el funcionamiento correcto del sensor; al igual que en la figura anterior se puede apreciar con claridad el funcionamiento correcto del dispositivo. La tabla 5.24 muestra el error relativo porcentual el cual es 7,79121617%

Tabla 5.22 Cuadro comparativo de la Luz Ambiente entregado por el Nodo 000 comparado con el Luxómetro.

Fecha y Hora	Sensor nodo	Luxómetro	Diferencia	Error relativo
3/11/2018 14:40	8444,92	8130	314,97	0,03729639
3/11/2018 14:50	7726,22	7349	376,95	0,04878776
3/11/2018 15:00	6670,05	6480	190,29	0,02852827
3/11/2018 15:10	9431,87	8983	448,43	0,04754359
3/11/2018 15:20	12109,70	11869	240,95	0,01989727
3/11/2018 15:30	14852,40	14678	174,00	0,01171528
3/11/2018 15:40	20003,80	19045	959,10	0,04794589
3/11/2018 15:50	33490,20	30460	3030,10	0,09047721
3/11/2018 16:00	21403,30	20206	1197,40	0,05594464
3/11/2018 16:10	14050,50	13571	479,55	0,03413046
3/11/2018 16:20	16457,50	15396	1061,75	0,06451466
3/11/2018 16:30	10706,80	11031	-324,40	0,0302985
3/11/2018 16:40	8813,47	8635	178,87	0,02029507
3/11/2018 16:50	6650,69	6473	177,92	0,02675211
3/11/2018 17:00	5401,70	5236	166,09	0,0307468
3/11/2018 17:10	4965,45	4780	185,89	0,03743669
3/11/2018 17:20	4896,56	4811	85,23	0,01740712
3/11/2018 17:30	3985,22	3883	102,37	0,02568616
3/11/2018 17:40	3170,15	3118	52,01	0,01640616
3/11/2018 17:50	1472,39	1425	47,56	0,03230122
3/11/2018 18:00	511,86	497	15,18	0,02964678
3/11/2018 18:10	67,25	75	-7,81	0,11613383
3/11/2018 18:20	6,34	0	6,34	1
3/11/2018 18:30	0,00	0	0,00	0

Tabla 5.23 Tabla de errores de luz ambiente del Nodo 000.

Error Relativo	7,79121617
Error Relativo Cuadrático	7,79545633

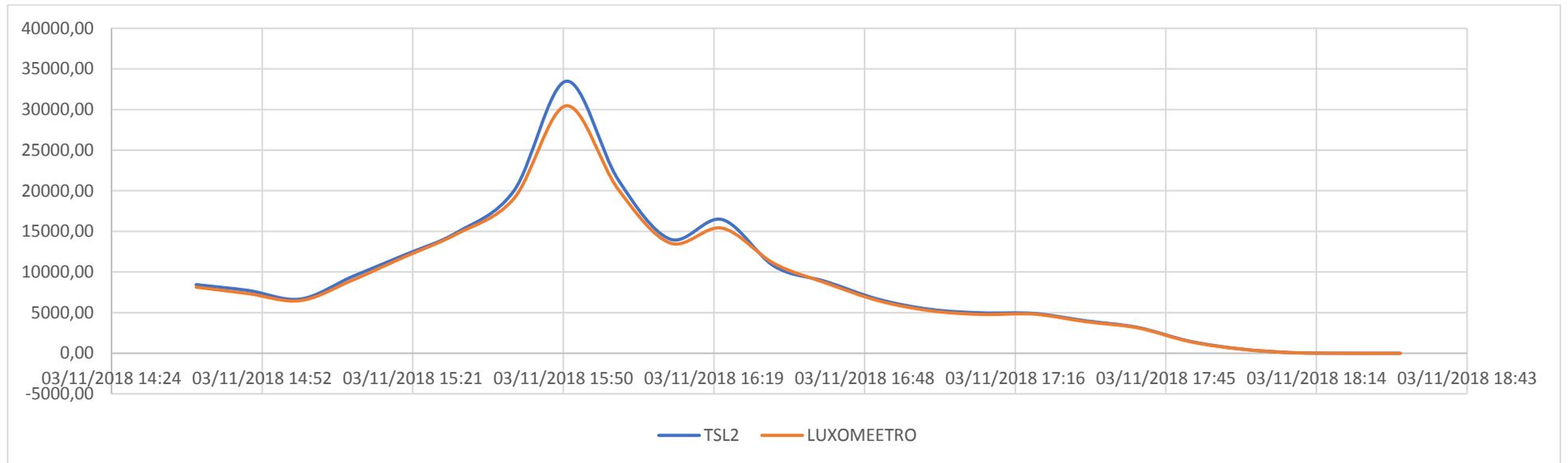


Figura 5.20 Gráfico del comportamiento de la Luz Ambiente del Nodo 000 comparado con el Luxómetro.

5.3.1.7 Sensor de Humedad de Hoja

El sensor de hoja es el único dispositivo incapaz de ser comparado con un patrón u otro dispositivo; ya que debido a las consideraciones de construcción este sensor funciona en contacto directo con las hojas; el equipo Libelium posee un sensor de características diferentes por lo tanto no es capaz de realizarse una comparación de acuerdo a un patrón establecido; en la figura 5.21 se aprecia el comportamiento de 3 sensores de hoja en un día de lluvia.

Tabla 5.24 Cuadro de valores de los sensores humedad de hojas entregado por el Nodo 000.

Fecha y Hora	Sensor de Hoja 1	Sensor de Hoja 2	Sensor de Hoja 3
3/11/2018 14:40	0,65	0,86	0,00
3/11/2018 14:50	79,39	13,66	0,26
3/11/2018 15:00	100,00	50,46	1,82
3/11/2018 15:10	100,00	93,54	0,74
3/11/2018 15:20	100,00	66,77	1,82
3/11/2018 15:30	100,00	3,55	43,03
3/11/2018 15:40	13,41	12,80	6,53
3/11/2018 15:50	100,00	0,86	0,69
3/11/2018 16:00	0,04	0,39	0,00
3/11/2018 16:10	0,61	0,09	0,00
3/11/2018 16:20	0,00	0,00	0,99
3/11/2018 16:30	0,00	0,17	0,00
3/11/2018 16:40	0,00	8,48	0,00
3/11/2018 16:50	0,00	0,00	0,00
3/11/2018 17:00	0,00	0,00	0,00
3/11/2018 17:10	0,00	0,00	0,00
3/11/2018 17:20	0,00	0,00	0,00
3/11/2018 17:30	1,30	0,00	48,99
3/11/2018 17:40	3,20	0,00	0,00
3/11/2018 17:50	1,30	0,00	0,00
3/11/2018 18:00	100,00	99,24	38,62
3/11/2018 18:10	100,00	100,00	100,00
3/11/2018 18:20	100,00	100,00	100,00
3/11/2018 18:30	100,00	56,00	100,00

En la tabla 5.24 se puede apreciar los valores registrados durante un corto tiempo de un día lluvioso, se usó estos datos por la variación que se presentó por las precipitaciones, constando de esta manera un funcionamiento correcto dentro de cada sensor en el dispositivo.

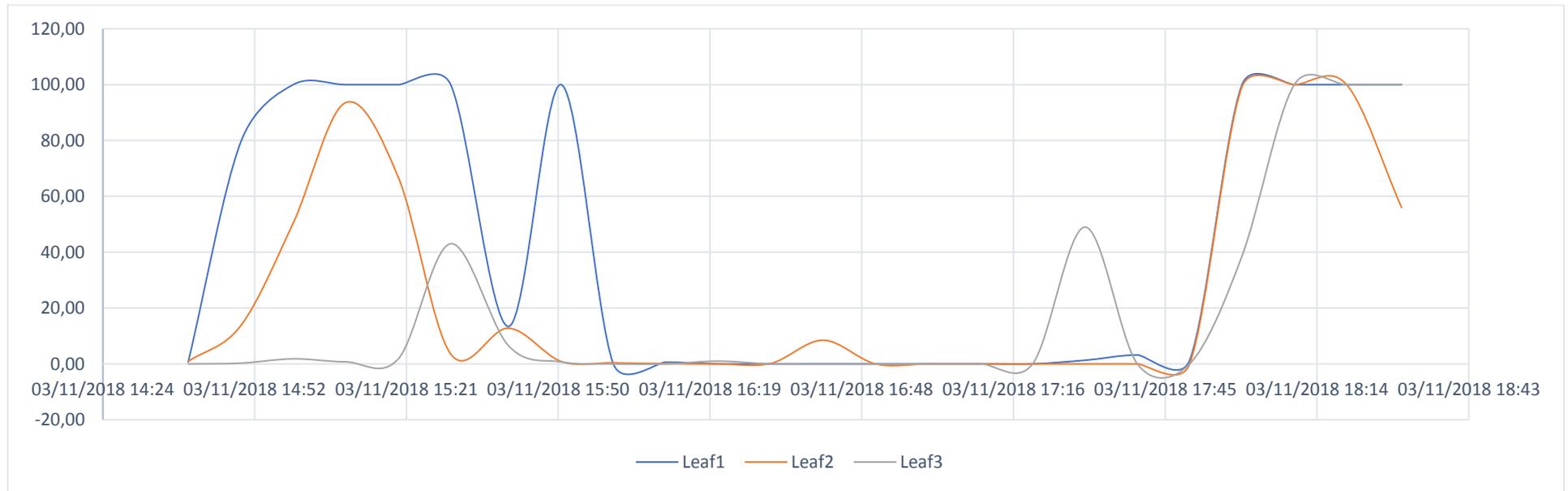


Figura 5.21 Gráfico del comportamiento de la Humedad de las hojas del Nodo 000.

5.3.1.8 Sensor de altitud

Por último, el sensor de altitud mide valores similares de 2500 metros en las pruebas realizadas, como se ve en la tabla 5.24; dichas pruebas se efectuaron en ciudad de Cuenca la que se encuentra a 2560 metros sobre el nivel del mar por lo que el sensor presenta un correcto funcionamiento.

Tabla 5.25: Cuadro de los valores de la altitud entregado por el Nodo 000.

Fecha y Hora	BMP1_altitud
16/10/2018 20:28	2497.19
16/10/2018 20:43	2495.13
16/10/2018 20:58	2494.7
16/10/2018 21:13	2491.75
16/10/2018 21:28	2490.22
16/10/2018 21:44	2489.95
16/10/2018 21:58	2489.56
16/10/2018 22:13	2486.6
16/10/2018 22:28	2487.3
16/10/2018 22:43	2486.39

5.3.2 Pruebas De Distancia

La prueba de distancia se realizó a campo abierto, se colocó el router de tal manera que tuviera línea de vista hacia un campo de cultivo y se encendió un nodo, el mismo que empezó a alejarse paulatinamente hasta perder conexión, los resultados de esta prueba arrojaron que la comunicación llega a un radio máximo total de 160m como se ve en la figura 5.22. La distancia que abarca es suficiente para cubrir un campo de sembrío cercano. Para mejorar esta distancia se puede cambiar la antena del Gateway por una que entregue mayor potencia. En la figura 5.22 se puede observar los resultados de la prueba.

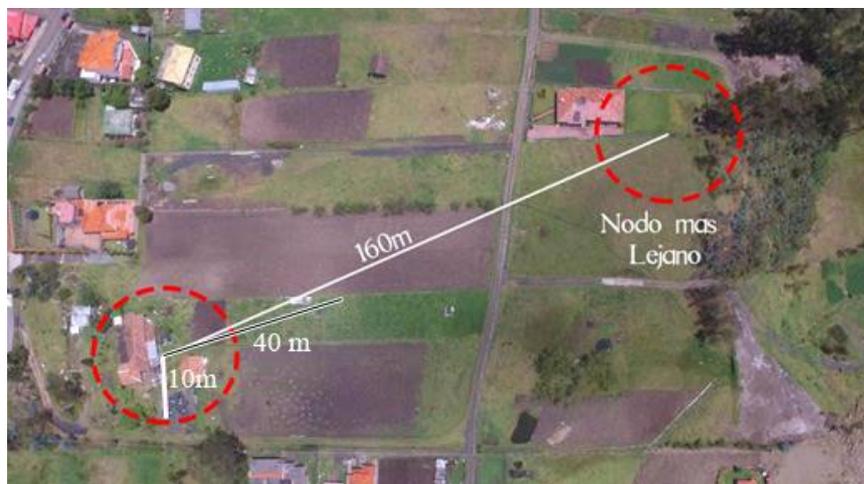


Figura 5.22: Radio máximo de alcance

5.4 Costos

A diferencia de los equipos Libelium que son equipos de alto costo, el equipo implementado se realizó a un valor mucho menor; se destaca el análisis descrito en la tabla 5.26, donde se aprecia el costo de desarrollo del equipo, destacando todos los implementos que se utilizaron para el desarrollo del proyecto; el valor total de \$1625 incluye recargos de envío e impuestos.

Tabla 5.26 Costos de desarrollo del equipo

Costos de desarrollo del equipo				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Sensor Humedad del Suelo	kit 5 sensores	3	\$8,89	\$26,67
Sensor de pH de Suelo	kit 1 sensor	5	\$38,99	\$194,95
Sensor Temperatura del Suelo	kit 1 sensor	3	\$13,00	\$39,00
Sonda Temperatura DS18B20 2M	kit 5 PCS	3	\$12,90	\$38,70
Sensor Humedad de Hojas	kit 5 sensores	3	\$8,19	\$24,57
Sensor Temperatura Humedad y Presión	kit 5 sensores	3	\$10,50	\$31,50
Sensor de Luminosidad	kit 10 sensores	1	\$25,40	\$25,40
Placa ADC 16 bits 4 Canales con I2c	u	4	\$6,49	\$25,96
Módulos Xbee	kit 3 módulos	2	\$99,00	\$198,00
Arduino Nano	kit 5 PCS	1	\$18,99	\$18,99
Arduino Mega	u	2	\$35,49	\$70,98
Conectores JST	kit	2	\$9,99	\$19,98
Pin Crimper	u	2	\$22,99	\$45,98
Rollo Cable 15ft/4.6m	u	3	\$7,03	\$21,09
Baterías Li-On 3.7V 6000mAh	kit 4 baterías	2	\$11,75	\$23,50
Placa Cargador de Baterías	kit 10 PCS	1	\$4,99	\$4,99
Panel Solar 4.5W	u	5	\$25,41	\$127,05
Plug 4 pines	kit 10 pares	4	\$14,88	\$59,52
Raspberry Pi 3	kit 4 PCS	1	\$55,25	\$55,25
Cable Protoboard	kit	1	\$6,99	\$6,99
Acrílico para la carcasa	u	3	\$50,00	\$150,00
Placa de Desarrollo Trinket 5V lógicos	u	5	\$10,14	\$50,70
Sensor de humedad del ambiente	u	3	\$12,00	\$36,00
Carrete Cable 4 hilos 18 AWG	u	1	\$49,75	\$49,75
Microcontroladores	u	5	\$12,00	\$60,00
Soil Meter 4 en 1	u	1	\$21,99	\$21,99
Soil Meter 3 en 1	u	2	\$8,99	\$17,98
Sensor de humedad y temperatura del suelo	kit 7 pcs	7	\$25,73	\$180,11
			TOTAL	\$1.625,6

En la tabla 5.27 se presenta el valor para la implementación de un solo nodo; se colocaron los materiales incluidos dentro del mismo; cabe recalcar que el costo elevado se debe al acrílico de la estructura debido a que en el desarrollo se construyeron solo 3 nodos y por ello presenta un valor más elevado que si se los produjera en masa.

Tabla 5.27 Costo por nodo

Costo por nodo			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Sensor Humedad de Hojas	3	\$1,64	\$4,92
Sensor Temperatura Humedad y Presión	2	\$2,10	\$4,20
Sensor de humedad del ambiente	1	\$12,00	\$12,00
Sensor de humedad y temperatura del suelo	2	\$25,73	\$51,46
Sensor de Luminosidad	2	\$5,08	\$10,16
Placa ADC 16 bits 4 Canales con I2c	1	\$6,49	\$6,49
Módulos Xbee	1	\$75,00	\$75,00
Conectores JST	1	\$9,99	\$9,99
Pin Crimper	1	\$22,99	\$22,99
Rollo Cable 15ft/4.6m	1	\$7,03	\$7,03
Baterías Li-On 3.7V 6000mAh	2	\$2,93	\$5,86
Panel Solar 4.5W	1	\$25,41	\$25,41
Plug 4 pines	1	\$14,88	\$14,88
Microcontroladores	1	\$12,00	\$12,00
Acrílico para la carcasa	1	\$50,00	\$50,00
TOTAL			\$312,39

En la tabla 5.28 se describe el costo del router para este proyecto, este consta de una Raspberry que es el procesador principal y el módulo XBee para la comunicación; presentando un valor total de \$130,25.

Tabla 5.28 Costo del Router

Costo por router			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Raspberry Pi 3	1	\$55,25	\$55,25
Módulos Xbee	1	\$75,00	\$75,00
			\$130,25

En la tabla 5.29 se encuentran los costos del sistema Libelium Smart Agriculture 3.0, este equipo se adquirió por la necesidad de tener una referencia para tener una referencia en cuanto a la comparación de las mediciones de sensores y costos; cómo se puede observar un sistema de estas características tiene un valor de \$7.502,66 sin contar los impuestos de envío y valores de aduana.

Tabla 5.29 Costos Libelium

Ítems	Unidades	Costo Unitario	Costo Total
Plug & Sense! Smart Agriculture-PRO 868/900	1	600 €	600 €
Plug & Sense! Smart Agriculture 868/900	1	535 €	535 €
Temperatura, Humedad y Presión 9370-P	2	48 €	96 €
Sensor de humedad del suelo 1.5 m 9248-P	1	65 €	65 €
Sensor de humedad del suelo 4.5 m 9324-P	2	80 €	160 €
Sensor de radiación solar (PAR) 9251-P	1	250 €	250 €
Temperatura de agua/suelo (Pt-1000)	2	30 €	60 €
Temperatura del suelo (DS18B20) 86949-P	2	30 €	60 €
Sensor de Humedad de hojas 9249-P	2	24 €	48 €
WS-3000	1	150 €	150 €
6600mAh batería + panel solar 6600-EXT	2	78 €	156 €
USB cable 256369	3	52 €	156 €
Adaptador internacional 10280	3	52 €	156 €
Meshlium 4G 868/900 AP	1	1.590,00 €	1.590 €
Otros implementos	1	354 €	354 €
		Subtotal Euros	4.436 €
		Subtotal Dólares	\$5.012,68
		Impuestos	\$2.489,98
		Total Dólares	\$7.502,66

En la tabla 5.30 se determina el valor de un solo nodo del sistema Libelium desglosado con un valor total de \$1511,48.

Tabla 5.30 Costos Libelium por nodo

Ítems	Unidades	Costo Unitario	Costo Total
Plug & Sense! Smart Agriculture-PRO 868/900	1	600 €	600 €
Temperatura, Humedad y Presión 9370-P	1	48 €	48 €
Sensor de humedad del suelo 1.5 m 9248-P	1	65 €	65 €
Temperatura de agua/suelo (Pt-1000)	1	30 €	30 €
Sensor de Humedad de hojas 9249-P	1	24 €	24 €
6600mAh batería + panel solar 6600-EXT	1	78 €	78 €
		Subtotal Euros	845 €
		Subtotal Dólares	\$954,85
		Impuestos	\$556,63
		Total Dólares	\$1.511,48

En la tabla 5.31 se muestra el costo del router Libelium, este dispositivo tiene el nombre de Meshlium, y su costo es muy alto debido a la gran cantidad de tipos de funcionalidades que este presenta.

Tabla 5.31 Costo de un router Libelium

Costo por router			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Meshlium 4G 868/900 AP	1	1.590,00 €	1.590 €
		Subtotal Dólares	1.781 €
		Impuestos	\$777,73
		Total Dólares	\$2.558,53

En la tabla 5.32 determinamos al sistema de este proyecto, como una implementación de bajo costo, esto se determina comparando los valores entre los equipos estudiados, recalando los \$1067,42 que cuesta el sistema total en comparación con los \$7502,66 valor total de un sistema Libelium en nuestra localidad.

Tabla 5.32 Cuadro comparativo de costos de implementación.

Costo Nodo de referencia (Libelium)				Costo Equipo Implementado		
Descripción	Cant	Precio Unitario	Costo Total	Cant	Precio Unitario	Costo Total
Costos de Implementación por nodo	2	\$1.511,48	\$3.022,96	3	\$312,39	\$937,17
Costos de Implementación por router	1	\$2.558,53	\$2.558,53	1	\$130,25	\$130,25
Costos por impuestos	1	\$1.921,17	\$1.921,17	-	-	\$0,00
		Costo total de Implementación Libelium	\$7.502,66		Costos Total de Implementación	\$1.067,42

5.5 Conclusiones y Recomendaciones

5.5.1 Conclusiones

Como conclusión principal podemos mencionar que el equipo cumple el objetivo planteado en este proyecto, pues los valores medidos presentan similitudes al compararlos con el equipo de referencia Smart Agriculture 3 de Libelium, es decir que imita la mayoría de características de este dispositivo, pero presentado a un menor coste. En la figura 5.23 (a) se puede observar una ilustración del nodo implementado y en la figura 5.23 (b) el nodo Libelium.

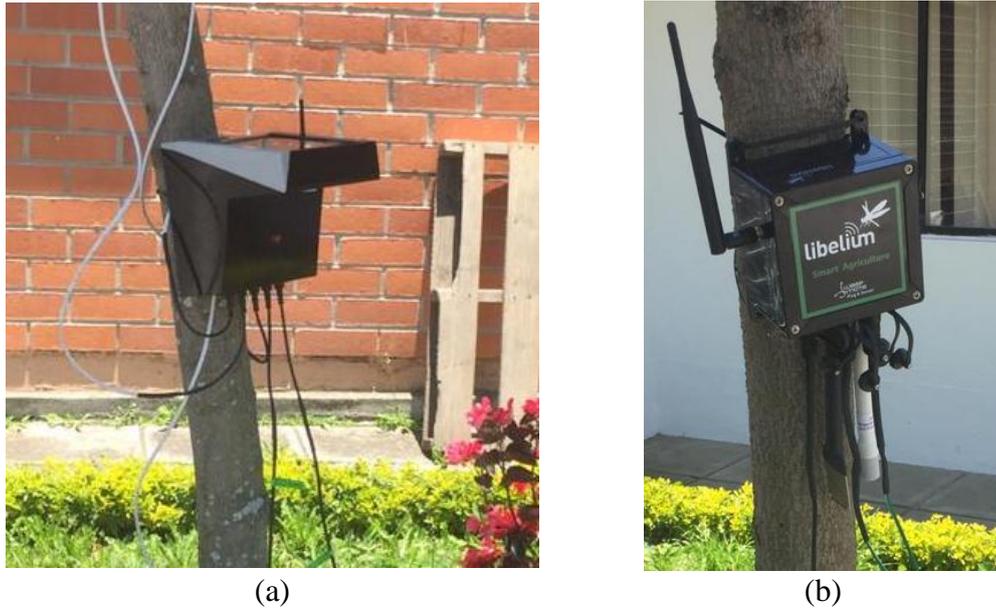


Figura 5.23 Comparación de Nodos

El Gateway realizado en este proyecto es la principal diferencia con Libelium, pues su Gateway, denominado Meshlium, figura 5.24 (b), posee una interfaz en la que se pueden implementar diferentes protocolos de comunicación, mientras que el desarrollado para este proyecto, figura 5.24 (a), solo cuenta con comunicación XBee.



Figura 5.24 Comparación de Gateway

Las pruebas del proyecto, se realizaron en dos lugares, se probó en la Universidad del Azuay como se ve en la figura 5.25 y en un cultivo ubicado en la parroquia El Valle. En la universidad del Azuay se hicieron pruebas durante tres días, las cuales sirvieron para corregir errores en el algoritmo de almacenamiento de datos, todos estos datos se utilizaron en cálculos para comprobar el funcionamiento del equipo pues se lo comparó con un equipo de referencia.



Figura 5.25 Ubicación en la facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay

En las figuras 5.26 se indican las pruebas en la parroquia el Valle, las mismas que tuvieron una duración de 3 horas y se corroboró el correcto funcionamiento del sistema tras las correcciones hechas en sus algoritmos.



Figura 5.26: Ubicación en el campo de pruebas parroquia el Valle

La figura 5.27 se puede observar un gráfico comparativo de los errores relativos que se calcularon de cada sensor, cabe recalcar que el nodo 000 se tomaron datos en dos

intervalos de tiempo desde 16/10/2018 20:27 hasta 17/10/2018 12:12 y desde 17/10/2018 07:42 hasta 18/10/2018 19:27, mientras que el nodo 001 se tomaron datos solo desde 16/10/2018 20:27 hasta 17/10/2018 12:12, esto se dio porque los nodos fueron colocados en puntos con diferentes radiación solar siendo que el nodo 001 se apagara primero pues estaba bajo la sombra, por ello se calcularon tres valores de error relativo, uno por cada intervalo de tiempo. En el gráfico se puede observar que en los mismos intervalos de tiempo los sensores presentan valores calculados similares mientras que con más datos tomados el error tiende a bajar; se destaca el error de 15.47% que presenta el sensor de temperatura ambiente, esto debido a que a temperaturas elevadas el calor se concentra en la carcasa provocando errores de lectura del mismo, así mismo se destaca el valor de humedad del ambiente como un error elevado, esto se da debido a que el equipo implementado utiliza un sensor distinto que el equipo de referencia, dicho sensor presenta grandes diferencias al momento que la humedad ambiental baja a valores menores del 30% de RH.

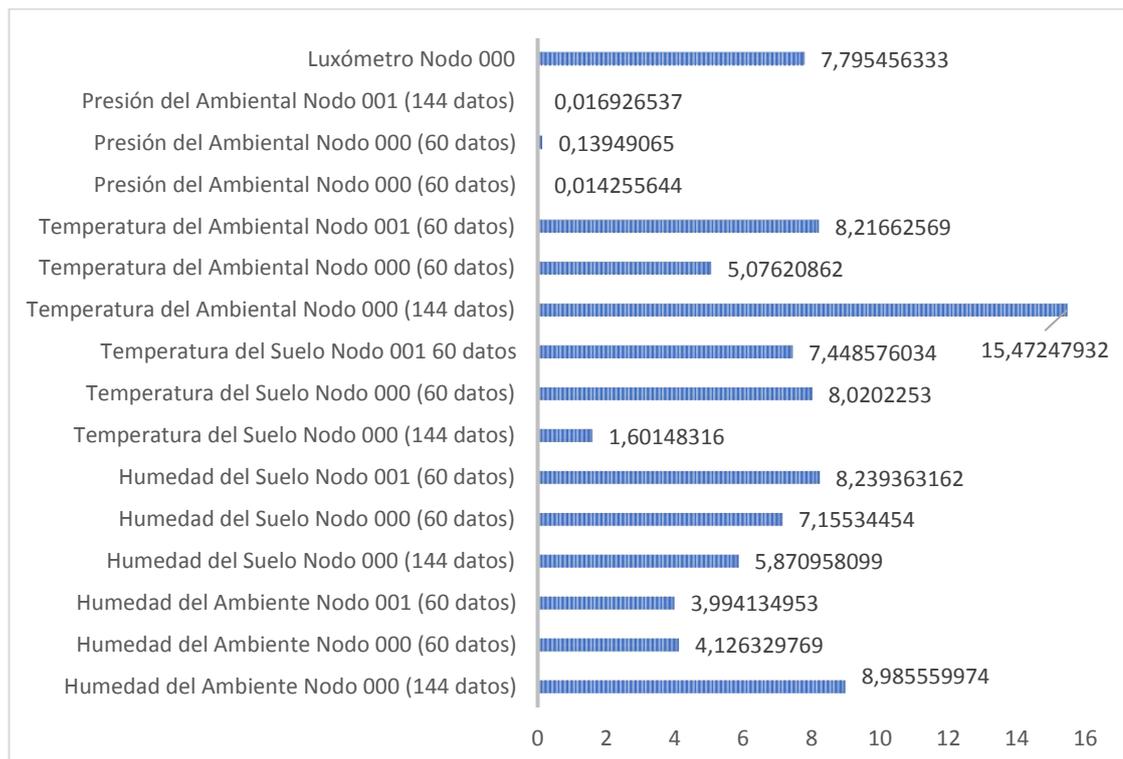


Figura 5.27 Gráfica de errores

Cabe destacar que el equipo fue realizado con sensores que funcionan bajo el protocolo de comunicación I2C, esto hace que sea un equipo más funcional pues los sensores pueden reemplazarse por otros que funcionen bajo el mismo protocolo, tan solo se debería reprogramar el microcontrolador para la lectura y envío de estos datos, por lo que este equipo puede medir distintos tipos de magnitudes y adaptarse a otras necesidades.

Los sensores de humedad de hojas son los únicos que no tienen un punto de referencia en sus pruebas, pues en esta implementación se tomó en cuenta valores referenciales distintos a los que tiene Libelium, dado a que se utilizaron sensores distintos, Libelium utiliza un sensor de humedad de las hojas colocado en el ambiente, mientras que los sensores implementados en este proyecto se colocan directo a las hojas de las plantas, se realizaron pruebas donde se verifican el correcto funcionamiento del sensor, pues estos al estar en contacto de las hojas se secan y se mojan al mismo ritmo que estas, dando una medida más real que la que puede entregar Libelium.

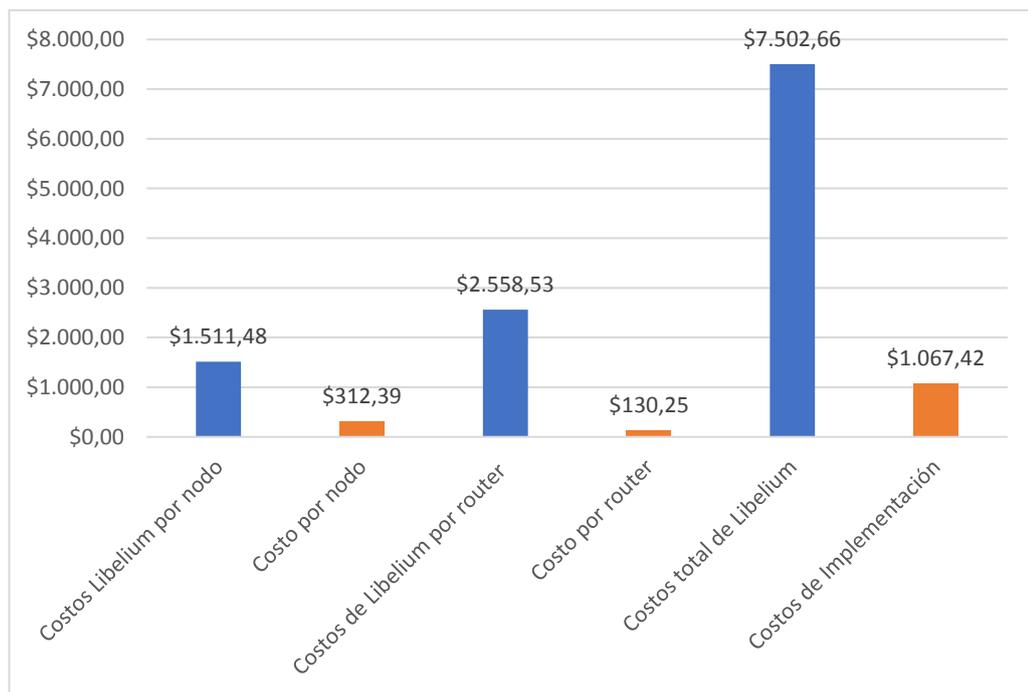


Figura 5.28 Costos totales de la implementación

En la figura 5.28 se observan los costos finales por una implementación de este proyecto en comparación con un sistema adquirido en el extranjero; se destaca el alto costo de equipo Libelium, sus sensores e implementos son excesivamente costosos desde su país de procedencia y la importación del mismo refiere un valor de casi el doble que su coste real; en comparación con el sistema implementado los valores son mucho menores y que presenta similares prestaciones.

5.5.2 Recomendaciones

Tras las pruebas de distancia realizadas a campo abierto se recomienda que para abarcar mayores distancias se debe cambiar la antena del Gateway por una que presente mayor potencia, esta sería una solución a implementar si se desea cubrir terrenos que presenten un radio mayor a 160m.

Para una mejor implementación del equipo se recomienda una mejora en la fuente del mismo, para que los nodos duren encendidos un mayor periodo de tiempo, pues en las pruebas realizadas se alcanzó un máximo de 60 horas con una radiación solar máxima.

Colocar los sensores de temperatura del ambiente en una carcasa especial que evite que, a grandes temperaturas el calor se concentre y provoque errores en las medidas.

Para una mejor implementación y mediciones más exactas de la humedad ambiental se recomienda cambiar los sensores BMP280 que miden presión, altitud y temperatura ambiente por BME280 los cuales miden presión, humedad y temperatura ambiente, pues estos sensores presentan menor rango de error antes humedades relativas bajas que el sensor implementado en el proyecto DTH22.

Finalmente se recomienda realizar futuros trabajos donde se utilice la plataforma y los diseños realizados en este proyecto a fin de abarcar temas de investigación como son: el riego inteligente, agricultura de precisión y control de plagas y enfermedades.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Adafruit. (11 de 11 de 2018). *Adafruit TSL2561 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor Breakout*. Obtenido de <https://www.adafruit.com/product/439>
- Akyildiz, A. I. (2002). A Survey on Sensor Networks. En I. C. Magazine..
- Ariza, F. J. (2012). *Temperatura, luz, atmósfera, viento*. Murcia: Universidad de España.
- Bafverfeldt, F. (2016). *Building an Arduino based weather station and connecting it as a slave to a control system*.
- bricogeek. (11 de 11 de 2018). *Sensor de temperatura y humedad SHT10 (Acero Inox)*. Obtenido de <https://tienda.bricogeek.com/sensores-temperatura/762-sensor-de-temperatura-y-humedad-sht10-acero-inox.html>
- CARPRIE. (11 de 11 de 2018). *4 Unid 6000 mAh 18650 batería recargable de li-ion 3.7 V* . Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/4PC-6000mAh-18650-Rechargeable-Li-ion-Battery-3-7v-1PC-Battery-Charger-MAY6/32811747688.html>
- cdtecnologia. (11 de 11 de 2018). *Sensor de Temperatura DTH22*. Obtenido de <http://cdtecnologia.net/arduino/61-sensor-de-temperatura.html>
- Corporation, O. (11 de 11 de 2018). *MYSQL.COM*. Obtenido de <https://www.mysql.com/>
- DIGI. (11 de 11 de 2018). *Digi XBee-PRO 900HP DigiMesh Kit (US/Canada)*. Obtenido de <https://www.digi.com/products/models/xkb9-dmt-uhp>
- Ebay. (11 de 11 de 2018). *Panel Solar De 4.5W - 6V/720mA - 165 X 165 Mm-epoxi-Monocristalino*. Obtenido de <https://www.ebay.com/itm/4-5W-Solar-Panel-6V-720mA-165-x-165-mm-Epoxy-Coated-Monocrystalline-/263142478861>
- Electronilab. (11 de 11 de 2018). *Sensor de temperatura DS18B20 tipo sonda*. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-temperatura-ds18b20-tipo-sonda/>
- Fischer, G. (2000). *Efecto de la temperatura del suelo sobre la planta. 1. Crecimiento y desarrollo*. Universidad Nacional de Colombia .
- Flores, K. O., Butaslac, I. M., Gonzales, J. E., Matthew, S., Dumlao, G., & Reyes., R. S. (2016). Precision Agriculture Monitoring System using Wireless Sensor Network and Raspberry Pi Local Server. *2016 IEEE Region 10 Conference*.
- G.Sahitya, Dr.N.Balaji, & Naidu., D. C. (2016). Wireless Sensor Network for Smart Agriculture. *2nd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology*.
- Guardia, A. B. (2016). *Aplicación de XBee a sensado agrícola*.
- HatfieldJohn, J., & Prueger, J. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*.

- Ibrahim Mat, M. R. (2016). *IoT in Precision Agriculture Applications Using Wireless Moisture Sensor Network*. .
- Ing. Irina Blanco Gil, I. A. (2015). “*Módulo Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo para el Sistema de Información Gerencial del CENSA*.”
- Izquierdo, J. C. (2017). *Diseño e implementación de un dispositivo IoT de bajo coste para entornos agrícolas*. Granada.
- John, G. E. (2016). *A Low Cost Wireless Sensor Network for Precision Agriculture*.
- JOOM. (11 de 11 de 2018). *Bmp280 pressure sensor module*. Obtenido de <https://www.joom.com/en/products/1495437370462311354-73-1-709-1606574529>
- Libelium. (2015). *Precision Agriculture: Predicting Vineyard Conditions, Preventing Disease*. Obtenido de <http://www.Libelium.com/precision-agriculture-predicting-vineyard-conditions-preventing-disease>
- Libelium. (2015). *Sustainable Farming and the IoT: Cocoa Research Station in Indonesia*. Obtenido de <http://www.Libelium.com/sustainable-farming-and-the-iot-cocoa-research-station-in-indonesia>
- Libelium. (2016). *Increasing tobacco crops quality by climatic conditions control*. Obtenido de <http://www.Libelium.com/increasing-tobacco-crops-quality-by-climatic-conditions-control>
- Libelium. (2016). *Smart Strawberries Crop Increases the Quality and Reduces the Time from Farm to Market*. . Obtenido de <http://www.Libelium.com/increasing-tobacco-crops-quality-by-climatic-conditions-control>
- Libelium. (2017). *Smart irrigation system to improve kiwi production in Italy*. Obtenido de <http://www.Libelium.com/smart-irrigation-system-to-improve-kiwi-production-in-italy/>
- Libelium, W. (2016). *Indoor Precision Farming in American medical marijuana plantations*. Obtenido de <http://www.Libelium.com/indoor-precision-farming-in-american-medical-marijuana-plantations/>
- Libelium. (2016). Obtenido de Precision Farming to control irrigation and improve fertilization strategies on corn crops: <http://www.Libelium.com/precision-farming-to-control-irrigation-and-improve-fertilization-strategies-on-corn-crops>
- Libelium. (2016). *Improving banana crops production and agricultural sustainability in Colombia using sensor networks*. Obtenido de <http://www.Libelium.com/improving-banana-crops-production-and-agricultural-sustainability-in-colombia-using-sensor-networks>
- Llamas, L. (11 de 11 de 2018). *MEDIR LA HUMEDAD DEL SUELO CON ARDUINO E HIGRÓMETRO FC-28*. Obtenido de Ingeniería, informática y diseño: <https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>

- MariaDB. (11 de 11 de 2018). *MariaDB*. Obtenido de <https://mariadb.com/>
- Marín, J. J. (2017). *Diseño de una estación meteorológica*. Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Mat, I., Kassim, M. R., Harun, A. N., & Yusoff, I. M. (2016). *IoT in Precision Agriculture Applications Using Wireless Moisture Sensor Network*.
- Natsys. (2014). *Todo sobre MySQL*. Natsys, 2014.
- Osio, J. R., Antonini, L., Aróztegui, W., & Rapallini, J. A. (2011). *Descripción General de un Microcontrolador (Módulos de Comunicación)*. Buenos Aires: Facultad de Ingeniería UNLP.
- PALACIOS, J. W. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO, REGISTRO Y CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA UN CULTIVO DE INVERNADERO*.
- Peláez, C. B. (2013). Estudio de redes de sensores y aplicaciones orientadas a la recolección y análisis de señales biomédicas. Gerencia tecnológica Informática.
- Rafaela., E. E. (2007). *EL AMBIENTE DEL SUELO Y EL CRECIMIENTO DE LAS RAÍCES*. Instituto de Suelos INTA Castelar.
- Sensirion. (Diciembre de 2011). *Humidity and Temperature Sensor IC*. Obtenido de Sensirion Inc., USA: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Pressure/Sensirion_Humidity_SHT1x_Datasheet_V5.pdf
- Vásquez, R. (2013). *Diseño de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de una empresa en Lima – Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Weijer, F. v. (2016). Cirano: el nuevo cultivo púrpura para todo el mundo. *Anthura*.
- Yongkang, T. (Septiembre de 2010). *Effects of long-term low atmospheric pressure on gas exchange and growth of lettuce*. Obtenido de <http://adsabs.harvard.edu/abs/2010AdSpR..46..751T>