

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea del CRAI-Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la CRAI-Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-Biblioteca
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

Diseño de una red de sensores inalámbrica para la monitorización y transmisión de datos del suelo y ambientales en tiempo real en los cultivos de palma africana.

Luis Miguel Piamonte Pardo

Trabajo de grado para optar el título de Magister en redes y sistemas de comunicación

Director

Ph.D. Mónica Karel Huerta

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Telecomunicaciones

2017

Agradecimientos

Primeramente quiero agradecer a Dios por haberme dado la oportunidad de poder llegar a un logro profesional más en mi vida y por permitirme realizar un sueño más en ella. No menos importante a ti virgencita y madre mía que siempre me estas cuidando y guiando por el camino que hace más fácil mi existencia.

A mis padres Víctor Manuel Piamonte y María Engracia Pardo, por ser esa voz de ánimo para que cada día siguiera adelante con mis estudios y cumpliendo uno de mis sueños; Les agradezco por siempre confiar en mí me han enseñado a valorar todo y para mí, son los mejores padres que existen. A mis hermanos por estar hay como parte fundamental de mi familia y apoyándome en todo el proceso.

A la UNIVERSIDAD SANTO TOMAS que siempre ha sido mi alma mater y de la cual siempre me he sentido muy orgullo pertenecer; Siempre seré un representante digno dejando en alto esas palabras Facientes Veritatem. A la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA que con sus docentes fue un apoyo en esta formación.

A mi directora de tesis, Ph.D. Monica Karel Huerta por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

También me gustaría agradecer a mis profesores que estuvieron a lo largo de toda mi maestría ya que todos han aportado a mi formación, y en especial al Ingeniero Tito Raul Vargas quien siempre estuvo en todo el proceso de formación con sus consejos, que ayudan a formarte como persona e investigador.

En general a todos mis amigos que estuvieron en algún momento de mi proceso de formación especialmente a Elizabeth Calderon y a Juan Pablo Duarte a quienes les agradezco de manera especial por ser esas personas que siempre me dieron un consejo, animaron y esa voz que no deja desfallecer y a quienes sin ningún temor puedo llamar mis amigos.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga

Tabla de Contenidos

1	Diseño de una red de sensores inalámbrica para la monitorización y transmisión de datos del suelo y ambientales en tiempo real en los cultivos de palma africana.	15
1.1	Objetivo General	15
1.2	Objetivos Específicos	15
2	Marco Teórico	16
2.1	Características de la Palma de aceite y su producción en Colombia	16
2.1.1	Taxonomía y morfología de la Palma de aceite	17
2.1.2	Requerimientos Edafoclimáticos.....	19
2.1.3	Análisis de las variables climáticas en los cultivos de palma Africana en Colombia.	20
2.2	Pudrición de Cogollo (PC)	22
2.3	Identificación de variables edafoclimaticas que propician la PC.....	27
2.4	Redes de sensores inalámbricas (WSN).....	27
2.4.1	Nodo	29
2.5	Agricultura de precisión	29
2.6	Minería de Datos (Técnicas de Big Data)	31
2.7	Normatividad vigente sistemas de monitoreo	33
3	Diseño del sistema.....	36
3.1	Diseño del Hardware y Software	36
3.1.1	Diseño de Hardware	36
3.1.2	Diseño de Software	42
3.2	Pruebas realizadas de Hardware y Software	43

3.2.1	Pruebas de Hardware.....	43
3.2.2	Pruebas de Software	49
3.2.3	Pruebas de sistema de energía	51
3.3	Diseño carcasa.....	51
3.4	Diseño y condiciones finales de Hardware y Software.....	52
3.5	Técnicas de Big data (minería de datos)	54
4	Resultados	56
4.1	Un solo nodo transmitiendo.	56
4.2	Dos nodos transmitiendo.....	58
4.2.1	Esquemas de conexión	58
4.2.2	Minería de datos	66
5	Conclusiones	67
6	Referencias	71

Lista de Figuras

<i>Figura 1</i> Inflorescencia palma	18
<i>Figura 2</i> Frutos de la palma	19
<i>Figura 3</i> Cultivos De Palma En Colombia	21
<i>Figura 4</i> Lesiones asociadas a PC	24
<i>Figura 5</i> Lesiones PC en flecha	24
<i>Figura 6</i> Cambios Normalizados del Grado de Síntomas de PC	25
<i>Figura 7</i> Precipitación y horas sol	26
<i>Figura 9</i> Casos PC Y horas sol mensual	26
<i>Figura 10</i> Red de sensores inalámbrica	28
<i>Figura 11</i> Características de nodo de red WSN.....	29
<i>Figura 12</i> Principio general de la agricultura de precisión	31
<i>Figura 13</i> Factores del Volumen	32
<i>Figura 14</i> Modelo del diseño del nodo	36
<i>Figura 15</i> Arduino Mega 2560	37
<i>Figura 16</i> Tester de PH Fuente	38
<i>Figura 17</i> Sensor DTH 22.....	38
<i>Figura 18</i> Sensor YL 69.....	39
<i>Figura 19</i> Sensor YL83.....	39
<i>Figura 20</i> Sensor GL55.....	39
<i>Figura 21</i> Modulo GPS6MV2	40
<i>Figura 22</i> Modulo GSM SIM 900	40
<i>Figura 23</i> Modulo WI-FI ESP 8266	41
<i>Figura 24</i> Modulo Xbee PRO S2C	41

<i>Figura 25</i> Diagrama de conexión Modulo TP 4056	42
<i>Figura 26</i> Montaje de hardware y diagrama de bloques prueba 1	43
<i>Figura 27</i> Montaje de hardware y diagrama de bloques prueba 2.....	45
<i>Figura 28</i> Montaje de hardware y diagrama de bloques prueba 3.....	46
<i>Figura 29</i> Montaje de hardware y diagrama de bloques prueba 4.....	48
<i>Figura 30</i> Montaje y diagrama de bloques para prueba de Software	50
<i>Figura 31</i> Diseño carcasa vista superior	52
<i>Figura 32</i> Vista corte diseño carcasa	52
<i>Figura 33</i> Diseño final de Hardware.....	53
<i>Figura 34</i> Imagen modelo LAMP implementado.....	54
<i>Figura 35</i> Formación de array para minería de datos	55
<i>Figura 36</i> Datos primera captura en la base de datos	57
<i>Figura 37</i> Datos Muestras obtenidas primeras 24 horas.....	57
<i>Figura 38</i> Esquema De Conexión Nodos	58
<i>Figura 39</i> Datos variables edafoclimaticas transmitidas por los dos nodos	60
<i>Figura 40</i> Captura variable de PH cultivo de palma sin presencia de PC	61
<i>Figura 41</i> Captura variable de luminosidad cultivo sin presencia de PC	61
<i>Figura 42</i> Captura variable de temperatura en cultivo sin presencia de PC	62
<i>Figura 43</i> Captura variable de humedad ambiente cultivo sin presencia de PC.....	62
<i>Figura 44</i> Captura variable de Temperatura muestra de tierra con presencia de PC.....	63
<i>Figura 45</i> Captura variable de PH muestra de tierra con presencia de PC.....	64
<i>Figura 46</i> Captura variable de Luminosidad muestra de tierra con presencia de PC.....	64
<i>Figura 47</i> Captura variable de Humedad de la tierra muestra de tierra con presencia de PC.	65
<i>Figura 48</i> Diferencias de PH	66

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Condiciones edafoclimaticas anuales en Colombia</i>	22
Tabla 2 <i>Características de la PC</i>	23
Tabla 3 <i>Acciones a seguir para controlar las variables edafoclimaticas</i>	27
Tabla 4 <i>Sensores a utilizar</i>	37
Tabla 5 <i>Configuración Xbee</i>	47

Resumen

En este trabajo de grado se examinan las redes de sensores inalámbricas (WSN) utilizadas como un medio fitosanitario dentro de los cultivos, para la prevención de la Pudrición de Cogollo.

Los nodos de la WSN capturan las variables edafoclimáticas de PH, humedad ambiente, humedad del suelo, temperatura, luminosidad y pluviometría; que según el Dr. Laing estas variables influyen en la aparición de pudrición de cogollo (PC) de forma abiótica en la palma.

La estructura lógica del sistema se basa en arquitectura LAMP. Se realizaron pruebas de transmisión al servidor combinando los protocolos zigbee, wifi y gsm; finalmente se realizó la implementación de una pequeña minería de datos, calculando la humedad promedio futura presente en el cultivo.

Palabras claves: Redes de sensores inalámbricas, pudrición de cogollo, abiótica, nodo, minería de datos.

Abstract

In this work, we examine wireless sensor networks (WSN) used as a phytosanitary medium within crops for the prevention of Bud Rot.

The WSN nodes capture the edafoclimatic variables of PH, ambient humidity, soil moisture, temperature, luminosity and rainfall; That according to Dr. Laing these variables influence the appearance of bud rot (PC) abiotically in the palm.

The logical structure of the system is based on LAMP architecture. Transmission tests were performed on the server combining the zigbee, wifi and gsm protocols; Finally the implementation of a small data mining was performed, calculating the average future moisture present in the crop.

Key words: Wireless sensor networks, bud rot, abiotic, node, data mining.

Introducción

La palma africana de aceite fue introducida en Colombia, en el año de 1932. Las primeras palmas se plantaron en la Estación Experimental de Palmira, en el Valle del Cauca. A partir de este material, se estableció en 1945 una pequeña plantación en la Estación Agroforestal del Bajo Calima (Buenaventura), de propiedad de la Secretaría de Agricultura del Departamento del Valle del Cauca. Gracias a la importancia que ha venido tomando la siembra de palma de aceite en el país por tratarse de un producto sustituto de combustibles y también alimenticio, la palma de aceite entra a hacer parte en Colombia de un sector de la economía muy amplio ya que en la actualidad cuenta con más de 450.131 hectáreas sembradas en todo el territorio nacional [1]. Desde hace unos años atrás este sector ha venido siendo golpeado duramente por la pudrición de cogollo, para la cual hay dos hipótesis sobre la aparición de esta enfermedad, la primera habla desde un origen biótico que es causada por una especie/sepa específica de bacteria u hongo, a veces con complicaciones por varias especies de insectos. La segunda son orígenes abióticos generalmente relacionados con un complejo de factores climáticos y edáficos como causas de un desorden nutricional. Esta enfermedad ha hecho que tanto grandes como pequeños cultivadores se vean afectados por la pérdida de sus cultivos, lo que ha generado pérdidas superiores a 1 billón de pesos [2]. La detección temprana de los factores abióticos que pueden dar origen a la pudrición de cogollo es una de las estrategias que le permitiría a los palmicultores minimizar el impacto en el sembradío. Por ello en esta investigación se propone diseñar una red de sensores inalámbrica para la monitorización y transmisión de datos del suelo y ambientales en tiempo real en los cultivos de palma africana para la prevención de la Pudrición de Cogollo. Para lograr esta prevención se diseñaron los nodos que conforman la WSN para capturar las variables edafoclimáticas: PH, humedad ambiente, humedad del suelo, temperatura, luminosidad y pluviometría, cuyas variaciones son las principales causas en la aparición de la

podrición de cogollo (PC) en forma abiótica. Se implementó una estructura lógica del sistema la cual se basa en una arquitectura LAMP. La estructura física se diseñó con equipos que son de bajo costo y fácil acceso en el mercado, adicionalmente se realizó el diseño de la carcasa y del circuito electrónico de potencia capaz de trabajar con energía solar. Se realizaron pruebas de transmisión combinando los protocolos Zigbee, WIFI y GSM; con el fin de transmitir las variables edafoclimaticas capturadas a un servidor para realizar el tratamiento de los datos. Dentro de los resultados obtenidos se evidencia que el PH del suelo es un factor importante en la aparición de la PC. Finalmente se realiza la implementación de minería de datos donde se plantea el cálculo a futuro del riego del cultivo de los cultivos, en función de la humedad promedio obtenido con las herramientas de Big data, con el fin de optimizar los sistemas de riego y minimizar los efectos de las variaciones climáticas en la aparición de la PC.

1. Diseño de una red de sensores inalámbrica para la monitorización y transmisión de datos del suelo y ambientales en tiempo real en los cultivos de palma africana.

1.1 Objetivo General

Diseño de una red de sensores inalámbrica para la monitorización y transmisión de datos del suelo y ambientales en tiempo real en los cultivos de palma.

1.2 Objetivos Específicos

Analizar la documentación existente relacionada con la producción de la palma de aceite y las condiciones climáticas óptimas para la planta.

Realizar una revisión bibliográfica del estado del arte de los sistemas de monitoreo (redes de sensores) y normativas actuales en la región, en el país y en el mundo.

Identificar los parámetros y características con los que debe contar el sistema piloto (tecnologías, protocolos, software de conexión y acceso al sistema, etc.).

Diseñar la infraestructura lógica del sistema.

Diseñar la infraestructura física del sistema.

Validar el funcionamiento del sistema.

2. Marco Teórico

En este capítulo se presenta una introducción a la oleaginosa más utilizada en el mundo para la producción de aceite, como lo es la palma de aceite, se analizarán sus características, taxonomía, morfología, requerimientos edafoclimáticos necesarios para su óptima producción en Colombia, la Pudrición de cogollo que es la enfermedad más común en este tipo de planta se identificarán las variables que se deben monitorear para generar una alerta temprana a los palmicultores sobre la posible presencia de la PC en sus cultivos. Adicional a esto se hará una breve descripción sobre las redes de sensores inalámbricas, la agricultura de precisión, Big Data (minería de datos) y finalmente se tendrá un breve concepto sobre la normatividad vigente en Colombia para la aplicación de las WSN.

2.1 Características de la Palma de aceite y su producción en Colombia

La palma de aceite también conocida como (*Elaeis guineensis*) es la oleaginosa más productiva del planeta, tiene una vida productiva que supera los 25 años [3]. Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primero en América [1], los mayores productores del mundo en aceite de palma están ubicados en el continente asiático, el primer productor es indonesia seguido por Malasia.

Actualmente los cultivos de palma de aceite en Colombia se encuentran distribuidos en 124 municipios de 20 departamentos. Estos departamentos a su vez están divididos en 4 zonas: norte, suroccidental, central y oriental, las cuales cuentan con 116 alianzas productivas estratégicas, las cuales permitieron crear la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma).

Cenipalma es una corporación de carácter científico y técnico, sin fines de lucro, creada en 1991 con el propósito de generar, adaptar, validar y transferir tecnología en el cultivo de la palma de aceite, su procesamiento y su consumo [4] .

Para poder analizar los problemas que se presentan en la palma de aceite es importante conocer y familiarizarse con su taxonomía y morfología, así como, los requerimientos edafoclimáticos que afectan el crecimiento y producción de esta especie.

2.1.1 Taxonomía y morfología de la Palma de aceite

El análisis de la Taxonomía y morfología de la Palma de aceite va a permitir analizar la forma y estructura de la planta, así como su clasificación biológica [5]:

Familia: Arecaceae.

Especie: *Elaeis Guineensis* Jacq.

Porte: Palmera monoica con tronco erecto solitario que puede alcanzar más de 40 m de altura en estado natural. En cultivos industriales para la obtención de aceite su altura se limita a los 10-15 m, con un diámetro de 30-60 cm cubierto de cicatrices de hojas viejas.

Sistema Radicular: Es de forma fasciculada, con gran desarrollo de raíces primarias que parten del bulbo de la base del tallo en forma radial, en un ángulo de 45° respecto a la vertical, profundizando hasta unos 50 cm en el suelo y variando su longitud desde 1 m hasta más de 15 m.

Tallo: Comunica las raíces con el penacho de hojas que lo coronan. Se desarrolla en tres o cuatro años, una vez que se ha producido la mayor parte del crecimiento horizontal del sistema radicular.

Hojas: Hojas verdes pinnadas (con folíolos dispuestos como pluma, a cada lado del pecíolo) de 5-8 m de longitud que constan de dos partes, el raquis y el pecíolo. A uno y otro lado del

raquis existen de 100 a 160 pares de foliolos dispuestos en diferentes planos, correspondiendo el tercio central de la hoja a los más largos (1,20 m).

Inflorescencias: Las flores se presentan en espigas aglomeradas en un gran espádice (espata que protege a una inflorescencia de flores unisexuales) que se desarrolla en la axila de la hoja. La inflorescencia puede ser masculina o femenina. La inflorescencia masculina está formada por un eje central, del que salen ramillas o espigas llamadas dedos, cilíndricos y largos, con un total de 500 a 1500 flores estaminadas, que se asientan directamente en el raquis de la espiga, dispuestas en espiral. En la *Figura 1* podemos observar las diferentes inflorescencias de la palma.



Figura 1 Inflorescencia palma [6]

Fruto: Drupa de forma ovoide, de 3-6 cm de largo y con un peso de 5-12 g aproximadamente. Están dispuestos en racimos con brácteas puntiagudas, son de color rojizo y alcanzan hasta los 4 cm de diámetro. Presentan una piel (exocarpio) lisa y brillante, una pulpa o tejido fibroso (mesocarpio) que contiene células con aceite, una nuez o semilla (endocarpio) compuesta por un cuesco lignificado y una almendra aceitosa o palmiste (endospermo), el fruto se puede detallar en la *Figura 2*.



Figura 2 Frutos de la palma [6]

2.1.2 Requerimientos Edafoclimáticos.

Clima: La palma africana es una planta propia de la región tropical calurosa, por ello se ubica en aquellas zonas que presentan temperaturas medias mensuales que oscilan entre 26 °C y 28 °C, siempre que las mínimas mensuales no sean inferiores a 21 °C, no soporta heladas. En cuanto a las precipitaciones, las condiciones favorables para esta especie están determinadas por la cantidad y distribución de las lluvias, que presentan rangos oscilantes entre 1800 mm y 2300 mm al año. A pesar de ello, se estima que una disponibilidad de 125 mm al mes, es suficiente para lograr las máximas producciones, lo que indicaría, que zonas con 1500 mm de lluvia al año, regularmente distribuidas, son deseables para el cultivo de la palma africana.

Luz: En relación a la luz, la palma africana se identifica como planta heliófila, por sus altos requerimientos de luz. Para lograr altas producciones se requieren 1500 horas de luz al año, aproximadamente, siendo importante la distribución de las mismas. Por ello, las zonas que presentan valores medios mensuales superiores a las 125 horas de luz, se consideran adecuadas para el cultivo de esta planta.

Humedad: En cuanto a la humedad relativa, es necesario un promedio mensual superior al 75%.

Suelo: El grado de rusticidad de la palma africana, permite su adaptación a una amplia gama de condiciones agroecológicas con diversidad de suelos, dentro del marco ambiental del trópico húmedo.

Tolera suelos moderadamente ácidos (PH 5,5-6,5), aunque éstos en general presentan deficiencias de elementos nutritivos tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y boro, que obligan a un manejo adecuado de la fertilización e imponen la aplicación de enmiendas. Los suelos óptimos son los de textura franco-arcillosa.

Los suelos óptimos para el cultivo de la palma africana, son suelos profundos con buen drenaje, de textura ligeramente arcillosa, con buen contenido en materia orgánica, topografía de plana a ligeramente ondulada con pendientes inferiores al 2% y con un nivel de fertilidad de medio a alto [7].

2.1.3 Análisis de las variables climáticas en los cultivos de palma Africana en Colombia

En Colombia algunos sistemas agrarios están más consolidados en materia de investigación agrometeorológica y red de observaciones meteorológicas por lo que tienen mayor acceso a pronósticos y predicciones. CENIPALMA ha tenido un importante avance en el tema de agrometeorología con el uso de diversos modelos que permiten simular disponibilidad hídrica, rendimientos potenciales, simulación de crecimiento de cultivo así como respuesta de determinados cultivos a diversas alternativas de manejo. Por otra parte, se encuentran los pequeños agricultores quienes tienen poco o ningún acceso a la información agroclimática. Es por esto, que la incidencia negativa del comportamiento climático en Colombia particularmente en la producción y rendimiento agrícola de los diversos cultivos, dificulta la toma de decisiones para el periodo de siembra y seguimiento en el ciclo fenológico en los cultivos de los pequeños agricultores o de las economías campesinas [8].

En la *Figura 3* se muestra el mapa de cómo están distribuidos los cultivos de palma en Colombia.



Figura 3 Cultivos De Palma En Colombia [1]

En la Tabla 1 se recopila parte de la información de las condiciones edafoclimaticas presentes en Colombia por departamentos productores de palma africana,

Tabla 1 Condiciones edafoclimáticas anuales en Colombia

			Valores Medios Anuales en Colombia			
DEPARTAMENTO	DEPARTAMENTO	DEPARTAMENTO	Temperatura °C	Humedad %	Brillo Solar Horas	Precipitaciones mm
ZONAZONA	1	Antioquia	20-22	85-90	05-jun	2000-2500
	2	Atlántico	26-28	80-85	06-jul	500-1000
	3	Bolívar	>28	80-85	06-jul	1000-1500
	4	Cesar	>28	75-80	05-jun	1500-2000
	5	Sucre	>28	85-90	05-jun	1000-1500
	6	Choco	26-28	85-90	03-abr	5000-7000
	7	Córdoba	26-28	85-90	04-may	1000-1500
ZONA DEPARTAMENTOS NORTE	8	La guajira	>28	70-75	07-ago	500-1000
	9	Magdalena	26-28	75-80	06-jul	2000-2500
	1	Antioquia	22-24	80-85	05-jun	2000-2500
	2	Bolívar	24-26	80-85	06-jul	1000-1500
	3	Caldas	22-24	75-85	04-may	2000-2500
	4	Cesar	>28	75-80	05-jun	1500-2000
	5	Cundinamarca	26-28	75-80	04-may	1000-1500
	6	Santander	24-26	80-85	04-may	1000-1500
	7	Norte de Santander	26-28	80-85	05-jun	1000-2000
DEPARTAMENTO DEPARTAMENTO DEPARTAMENTO S ZONAMIENTOS ZONA SUR OCCIDENTAL	1	Caquetá	24-26	80-90	04-may	3000-4000
	2	Cauca	20-22	80-85	04-may	1000-1500
	3	Nariño	24-26	85-90	04-may	1000-1500
	1	Arauca	26-28	80-85	05-jun	2500-3000
	2	Casanare	26-28	75-85	05-jun	2000-2500
DEPARTAMENTO DEPARTAMENTO DEPARTAMENTO S ZONAMIENTOS ZONA SUR OCCIDENTAL	3	Cundinamarca	26-28	75-80	04-may	1000-1500
	4	Meta	26-28	75-85	04-may	4000-5000
	5	Vichada	26-28	75-85	06-jul	2500-3000

2.2 Pudrición de Cogollo (PC)

La pudrición de cogollo es una de las enfermedades que más presentan las plantaciones de palma de aceite en Colombia. Esta enfermedad es la responsable de grandes pérdidas económicas y ha generado inestabilidad social en los sitios donde la PC aparece. Lo que trae como consecuencia que los cultivadores prescindan de personal y esta situación provoca aumento en la tasa de desempleo de la zona. La aparición de la pudrición de cogollo se ha venido investigando en toda

américa latina por diferentes institutos, donde los resultados indican que la enfermedad tiene orígenes bióticos y abióticos. Importantes institutos de investigación han empezado a dar soluciones en el manejo a esta enfermedad mediante manipulación genética a las palmas sembradas. Las características de la PC se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 Características de la PC [9]

Información Técnica	
Nombre común	Pudrición del Cogollo, PC.
Nombre científico	Phytophthora palmivora
Tipo de plaga	Hongo, pertenece al reino Straminipila (Cromista)
Cultivo que ataca	Palma de aceite (Elaeis guineensis)
Síntomas	Amarillamiento y secamiento de las flechas jóvenes, posteriormente hongos o insectos oportunistas promueven el proceso de producción
Dispersión	A través de plantas infectadas de viveros y por insectos como el picudo negro de la palma o Rhynchophorus palmarum
Órganos que ataca	Tejidos de las flechas en desarrollo, deteriora la emisión y maduración de nuevas flechas y detiene el crecimiento de la planta

Los síntomas de la PC muestran la destrucción de las flechas jóvenes, sin presentarse daño al área meristemática en los estados iniciales de la enfermedad. El área meristemática es el punto de crecimiento de la planta, si esta se afecta la planta muere. Por esa razón, los expertos indican que cuando se hace la detección de la enfermedad a tiempo, una simple poda de la flecha joven afectada junto con un control químico puede ser suficiente para controlar la enfermedad, pero si el ataque es severo hay destrucción de las flechas y del área meristemática. Por consiguiente, se detiene la emisión y maduración de las nuevas flechas provocando la muerte de la planta [9]. En las *Figura 4* y *Figura 5* se muestra palmas con la presencia de PC.



Figura 4 Lesiones asociadas a PC [10]



Figura 5 Lesiones PC en flecha [10]

Hasta el momento no hay claridad sobre la etiología de la enfermedad y se ha relacionado con diversos factores abióticos de naturaleza fisiológica y biótica de naturaleza patógena. Estudios preliminares han reportado que ningún elemento nutritivo en forma individual se asocia con la incidencia de PC, aunque es posible que el desequilibrio de nutrientes en el suelo, junto con el exceso de agua, entre otros, se conviertan en factores predisponentes a la enfermedad [11].

De acuerdo a resultados obtenidos por el Dr. Laing [12], se extraen los siguientes resultados:

El comportamiento de una plantación de palma de aceite en Colombia donde se aplicaron tres tipos de aspersiones:

Tipo de aspersión 1: En esta aspersión se aplicaron los siguientes nutrientes al cultivo N, P, k, CaCl₂, Mg, S y Micros. En la gráfica se muestra la aparición de PC en la plantación de forma trimestral.

Tipo de aspersión 2: En este tipo de aspersión no se aplicó ningún tipo de nutrientes. En la gráfica se muestra la aparición de PC en la plantación de forma trimestral.

Tipo de aspersión 3: En esta aspersión se aplicaron los siguientes nutrientes al cultivo N, P, k, Mg, S y Micros.

En la *Figura 6* se muestra la aparición de PC en la plantación de forma trimestral.

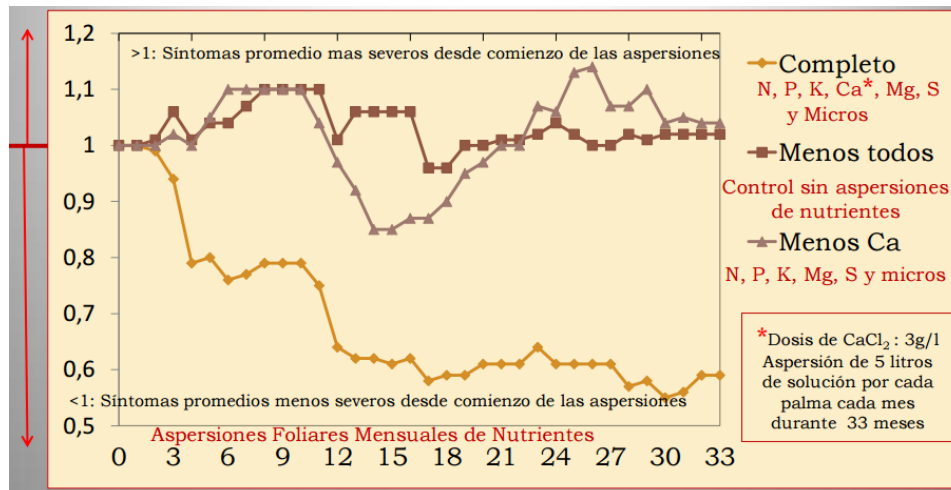


Figura 6 Cambios Normalizados del Grado de Síntomas de PC [12]

En la *Figura 6* se puede observar que se realizó una toma de muestras durante un periodo de 33 meses en un cultivo de palma de aceite, en este cultivo se realizaron aspersiones mensuales donde se aplican todos los nutrientes en una parte del cultivo, en otra parte del cultivo se aplican todos los nutrientes excepto calcio y finalmente en otra parte del cultivo no se aplica ningún tipo de nutriente. De acuerdo a los resultados se puede concluir que el calcio es un factor que influyó en la aparición de la pudrición de cogollo. Cabe destacar que cuando en el suelo hay falta o excesos de calcio el PH del mismo varia volviendo el terreno demasiado acido o alcalino. En las *Figura 7* y *Figura 8* obtenidas de [12] se evidencia la relación que hay entre las horas sol y las lluvias con respecto a la aparición de la pudrición de cogollo en el cultivo que se tomó de muestra.

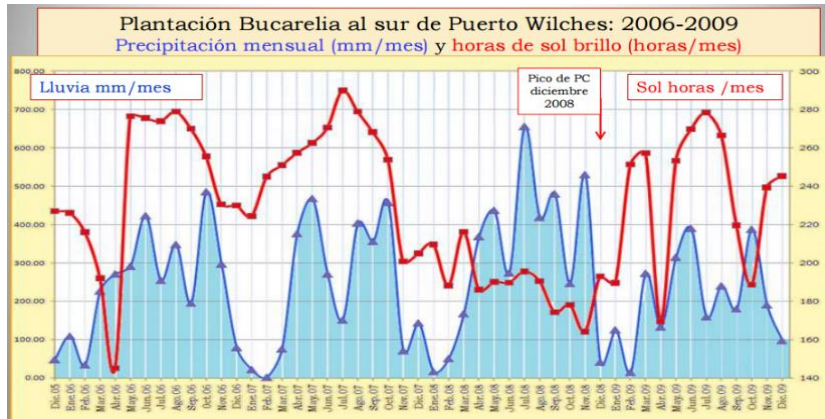


Figura 7 Precipitación y horas sol [12]

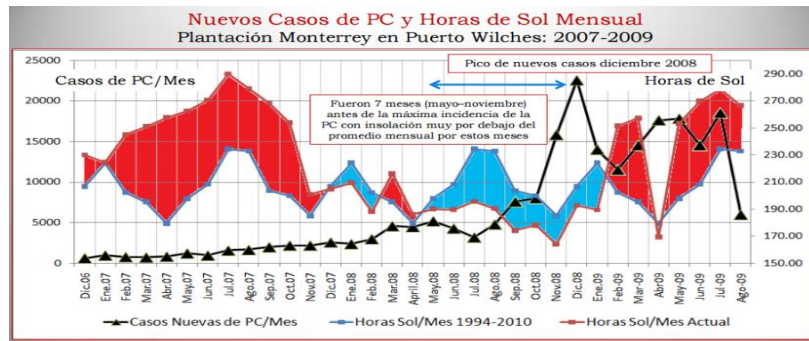


Figura 8 Casos PC Y horas sol mensual [12]

Al observar estas dos figuras se puede concluir que hay aumento de PC en los cultivos en momentos que la radiación solar baja y las lluvias aumentan. Como se puede observar en la Figura 7 durante los meses de mayo a noviembre las lluvias estuvieron por encima de las horas sol, por lo que se generó que los suelos estuvieran demasiados húmedos, generando esto que el pico máximo de la aparición de la PC se produjera en el mes de diciembre como se observa en la Figura 8. Se observa en la Figura 8 que el mes de enero las horas sol aumentaron generando esto que los suelos se secan y disminuyendo la humedad de estos que directamente influye en la aparición de la PC.

2.3 Identificación de variables edafoclimáticas que propician la PC

Después de haber realizado un estudio sobre los factores abióticos que afectan a los cultivos de palma, específicamente relacionado con la Pudrición del Cogollo (PC), es necesario generar seguimientos a las variables edafoclimáticas que propician el PC [13]. Este seguimiento permitirá generar una alerta temprana a los agricultores de una posible proliferación de la PC en los cultivos de palma. La Tabla 1.3 muestra las acciones a seguir para controlar las variables edafoclimáticas que propician la aparición de la PC.

Tabla 3

Acciones a seguir para controlar las variables edafoclimáticas

VARIABLE	OBJETIVO
Humedad aire	Medir la humedad del ambiente
Humedad tierra	Medir la humedad presente en el terreno
Pluviometría	Medir el nivel de lluvias presentes en el cultivo
Temperatura	Verificar la temperatura ambiente de la zona
GPS	Distinguir zona ubicación cultivo, con el fin de verificar las condiciones normales de la zona
PH	verificar PH de la tierra con el fin de verificar el nivel de Ca
Luminosidad	Medir la cantidad de horas luz presente en el cultivo con el fin de cruzar información con lluvias presentes y humedad de la tierra.

2.4 Redes de sensores inalámbricas (WSN)

En la actualidad el crecimiento que han tenido las comunicaciones inalámbricas ha propiciado que estas se pongan a disposición en los diferentes sectores de la industria, gracias a los continuos avances tecnológicos [14]. Todo ello permite el desarrollo de nuevos dispositivos para la detección y medida de cualquier magnitud de forma sencilla y con gran precisión.

Las WSN están siendo aplicadas con éxito a sistemas de automoción, aplicaciones industriales [15], aviónica, entornos inteligentes, identificación de productos, domótica y

seguridad, control de consumo energético, estudio de invernaderos, monitorización del medio ambiente, y un sinnfín de nuevas aplicaciones [16].

Uno de los aspectos que más impacto causa en las prestaciones de las redes inalámbricas de sensores es el conjunto de protocolos empleados en cada uno de sus niveles. Por ello, este es un frente de investigación aún abierto a pesar de la existencia de protocolos estándar (IEEE802.15.4) no dejan de surgir otras propuestas más eficientes para muchas aplicaciones en las que se requiere un amplio periodo de funcionamiento con fuentes de energía [17] muy limitadas (bajo coste de los nodos) [18].

Las WSN [19], están compuestas de nodos, los cuales tienen la capacidad de obtener la información de su entorno, procesarla y transmitirla de manera autónoma por medio de enlaces inalámbricos hasta un nodo central (gateway). En la *Figura 9* se muestra como está conformada una red de sensores inalámbrica [20].

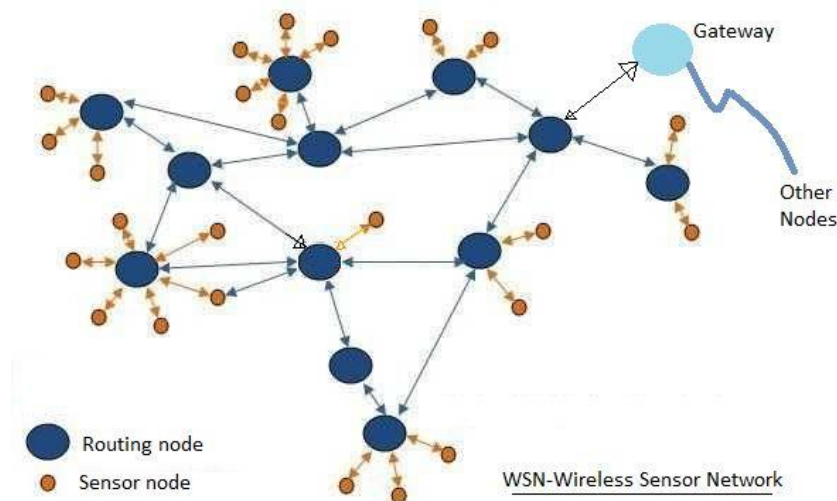


Figura 9 Red de sensores inalámbrica [20]

2.4.1 Nodo

Es una unidad autónoma que por lo general está constituida por un microcontrolador, una fuente de energía, un medio de transmisión y diferentes tipos de sensores. La *Figura 10* muestra un bosquejo general de cómo está constituido un nodo para una red WSN.

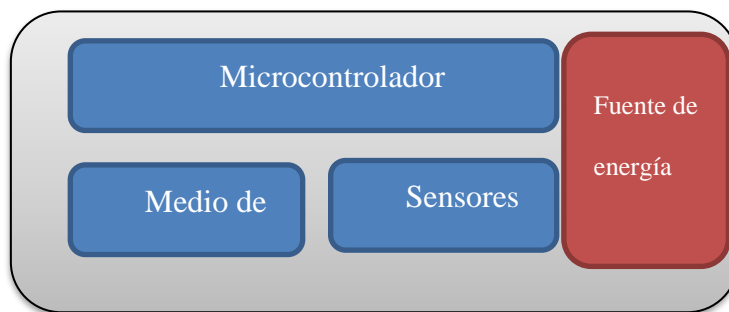


Figura 10 Características de nodo de red WSN

2.5 Agricultura de precisión

La agricultura tradicional siempre se ha realizado de forma artesanal y los campos agrícolas siempre eran considerados que su comportamiento era homogéneo y la aplicación de insumos no incluía la variabilidad espacial y temporal de la producción ni el análisis de las causas de esa variabilidad.

La Agricultura de Precisión (AP) es el conjunto de técnicas orientadas a optimizar el uso de los insumos agrícolas en función de la variabilidad espacial (diferencias del cultivo en un mismo campo, en una misma campaña y cosecha) y temporal (cambios del cultivo en un mismo campo, en distintas campañas de cosecha). Se puede decir que la AP consiste en efectuar en el cultivo la intervención correcta, en el momento adecuado y en el lugar preciso [21].

La puesta en práctica de la AP implica la utilización de herramientas y tecnologías con diferente nivel de desarrollo, independientes entre sí pero completamente ligadas desde el punto de vista de consecución del objetivo final [22].

Según [21] estos sistemas se pueden agrupar en cuatro niveles de tecnologías a utilizar:

1) Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), los cuales permiten determinar la posición exacta de los equipos agrícolas durante el trabajo.

2) Captadores y sensores, materiales capaces de detectar, tratar y almacenar información sobre la variabilidad intra-parcelaria.

3) Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramientas que permiten la gestión georreferenciada de la información parcelaria.

4) Tecnologías capaces de controlar automáticamente los equipos agrícolas, de forma que pueden modificar en continuo las condiciones de regulación de los mismos.

De acuerdo a esto, se puede inferir que la agricultura de precisión está en un continuo crecimiento por la dinámica que se presenta a diario en el sector del agro, este sector está generando una demanda de AP que necesita cada día ser más flexible y adaptable a las necesidades que este demanda.

El principio de actuación en el que se fundamenta la agricultura de precisión es perfectamente adaptable a cualquier otra actividad. Tras una primera fase de determinación de las necesidades, o lo que es lo mismo, toma de datos y acopio de información, se pasa a una segunda fase de análisis e interpretación de los datos obtenidos para, a partir de ellos, establecer un procedimiento de actuación de acuerdo con las necesidades cambiantes en el tiempo y en el espacio [23]. En la *Figura 11* se muestra el diagrama de flujo del principio general para la agricultura de precisión.

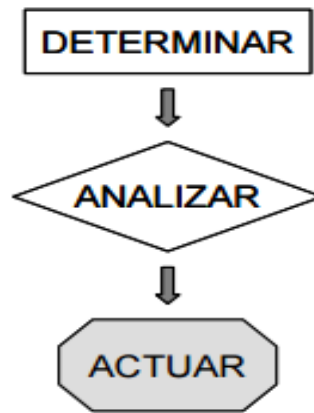


Figura 11 Principio general de la agricultura de precisión [23]

La agricultura de precisión se ha tratado de diferentes maneras que van desde la agricultura de precisión por medio de la captura de información a través de sensores hasta la agricultura de precisión por medio de procesamiento de imágenes.

2.6 Minería de Datos (Técnicas de Big Data)

En los últimos años, el avance de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) ha dado lugar a novedosos dispositivos, o mejoras de los existentes, y aplicaciones que generan, almacenan y hacen un uso intensivo de los datos [24]. Algunos ejemplos de tales dispositivos: son los Smartphones y tablets, sensores, discos duros, dispositivos de identificación por radiofrecuencia (RFID), entre otros.

Para el término de Big Data existen varias definiciones: Según [25] Big Data queda definido por las 5 V's o características que debe tener un dato que son Volumen, Variedad, Velocidad, Veracidad y Valor. Algunos autores la definen como la forma de afrontar el procesamiento o análisis de grandes volúmenes de información que por su naturaleza desestructurada no pueden ser analizados, en un tiempo aceptable, usando los procesos y herramientas tradicionales de BI

[26]. Phillip Carter, vicepresidente asociado de la consultora IDC, define el Big Data como: “una nueva generación de tecnologías y arquitecturas diseñadas para extraer valor económico de grandes volúmenes de datos heterogéneos habilitando una captura, identificación y/o análisis a alta velocidad. [27]

El volumen no es lo más importante a la hora de manejar la información, ejemplo: No supone el mismo esfuerzo analizar y extraer conocimiento de 1 terabyte de texto que de 1 gigabyte de imágenes médicas. Se ha de valorar el tamaño en relación a los recursos disponibles. A la hora de valorar el Volumen de los datos hemos de tener en cuenta otros factores, como se puede ver en la *Figura 12*

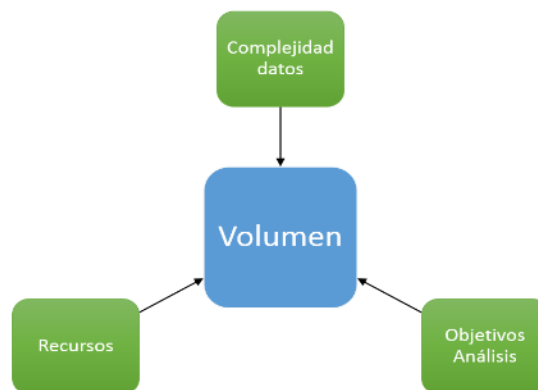


Figura 12 Factores del Volumen

Otros elementos a tomar en cuenta son:

Velocidad: Se refiere al incremento de la velocidad a la que se generan (y se distribuyen) los datos. El aumento de la velocidad de generación es una de las razones del incremento del volumen de datos, pues los pequeños mensajes o eventos generados en cada instante, por dispositivos y aplicaciones como los anteriores, dan lugar enormes conjuntos de datos.

Variedad: se refiere al importante aumento en la heterogeneidad en las fuentes de datos debido a diversos factores como: Incremento en el número de fuentes disponibles, posibilidad

de procesar fuentes con distinto nivel de estructura, diversidad de formatos en que se distribuyen las fuentes, entre otras. [28]

Veracidad: Aumento de la incertidumbre respecto de la Veracidad calidad de los datos disponibles.

Valor: Se define como una medida de la utilidad de los datos para la toma de decisiones en la organización, poniendo de manifiesto la dificultad para conocer y evaluar dicha utilidad a priori.

Arquitecturas Big Data

Existen varias arquitecturas de Big Data, a continuación se mencionan algunas de ellas:

Hadoop / MapReduce: Es una de las arquitecturas más usadas por las empresas y desarrolladores que implementan Big Data.

Apache Hadoop: Es un entorno de código abierto que en su forma más básica implementa Hadoop HDFS y el algoritmo Map Reduce

Hadoop HDFS: es el sistema de archivos distribuido que conforma el corazón de la arquitectura Map Reduce (Modelo de programación para el procesamiento de datos en paralelo el cual es simple pero con una gran potencia).

Cassandra, Apache Hive: Además del entorno Hadoop en los últimos años ha aparecido un nuevo tipo de bases de datos para dar soporte al Big Data: Las Bases de Datos NoSQL. [29]

2.7 Normatividad vigente sistemas de monitoreo

La normatividad vigente que se debe tener en cuenta está relacionada con el uso del espectro y las frecuencias que se utilizan en los nodos, es por ello que se tuvo en cuenta lo expedido por las autoridades que reglamentan en Colombia las telecomunicaciones que son la ANE y el Mintic.

De acuerdo a los lineamientos dados por la ANE (Agencia nacional del espectro) el uso sin necesidad de contraprestación o pago, de algunas frecuencias o bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, atribuidas, permitidas y autorizadas de manera general y expresa por el Ministerio de Tecnologías de Información y Comunicaciones, definición contenida en la Resolución 2544 de 2009 del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [30]. Es importante mencionar, que el objeto de la anterior Resolución es “Atribuir unas bandas de frecuencias radioeléctricas, a título secundario, para su libre utilización dentro del territorio nacional mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha, baja potencia y corto alcance” bajo las condiciones técnicas establecidas por la misma.

Además de la mencionada resolución, se encuentran otras resoluciones que tratan temas relacionados con el espectro de uso libre:

Resolución 2190 de 2003 del Ministerio de Comunicaciones [31], la cual tiene por objeto atribuir unas frecuencias radioeléctricas para su uso libre por parte del público en general, en aplicaciones de radios de baja potencia y corto alcance de operación itinerante, cuya instalación y operación se autoriza de manera general, y definir las características técnicas de operación para la utilización de los mismos.

Resolución 689 de 2004 del Ministerio de Comunicaciones modificada por la Resolución 1689 de 2004 del Ministerio de Comunicaciones [32], la cual tiene por objeto atribuir unas bandas de frecuencias radioeléctricas para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia.

Resolución 1713 de 2004 del Ministerio de Comunicaciones, la cual tiene por objeto determinar la prestación, por conducto de las entidades territoriales, de los Servicios Especiales

de Telecomunicaciones que utilicen Sistemas de Radiocomunicación Cívico Territorial, definir las frecuencias que podrán ser utilizadas libremente para la prestación de los citados servicios, y especificar las características técnicas de operación de los sistemas.

Resolución 473 de 2010 del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Por la cual se atribuyen, a título secundario, unas frecuencias y bandas de frecuencias radioeléctricas para su libre utilización, dentro del territorio nacional, mediante dispositivos de radiocomunicaciones de corto alcance y baja potencia y se dictan otras disposiciones.

Dentro de los principios orientadores del sector TIC, establecidos en la Ley 1341 de 2009, se encuentra el de neutralidad tecnológica; bajo este principio el gobierno no establece que tecnología se puede usar en las bandas de uso libre, sin embargo, se establecen algunas aplicaciones que se pueden usar en las bandas de uso libre. Las condiciones técnicas de operación de estas aplicaciones se encuentran relacionadas en las resoluciones 473 del 2010 y 2544 de 2009 del Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

3. Diseño del sistema

En el desarrollo de este capítulo se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo el diseño del hardware y software que se utilizaran para realizar las diferentes pruebas. Se describe el hardware utilizado para cada uno de los sistemas (procesamiento, sensores, GPS, transmisión y energía) que componen el nodo. Seguidamente se describirá el sistema LAMP que se utiliza en la parte del software. Finalmente se describen las pruebas de laboratorio desarrolladas en la integración del hardware con el software con el fin de determinar sus comportamientos.

3.1 Diseño del Hardware y Software

3.1.1 Diseño de Hardware

Para el diseño del hardware se realizaron diferentes pruebas, donde se tuvo en cuenta que los equipos a utilizar fueran comerciales y de bajo costo. En la

Se muestra un diagrama de bloques del nodo diseñado el cual está compuesto de los módulos de procesamiento, sensores, GPS, transmisión y energía.

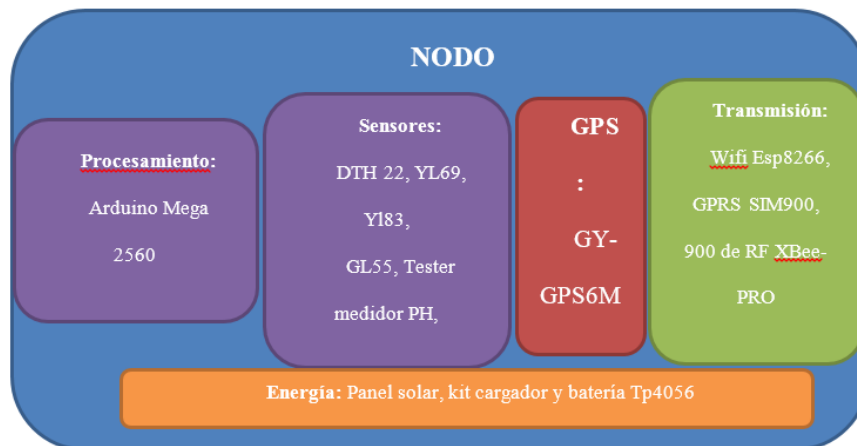


Figura 13 Modelo del diseño del nodo

3.1.1.1 Procesamiento: Para realizar la parte de procesamiento se escogió el Arduino mega. Ya que tiene como características: 54 pines de entrada/salida digitales (de los cuales 14 pueden ser usados como salidas analógicas PWM), 16 entradas analógicas y 4 receptores/transmisores serie TTL-UART. Consta de una memoria Flash de 256 Kilobytes (de los cuales 8 están reservados para el bootloader), una memoria SRAM de 8 KB y una EEPROM de 4 KB. Su voltaje de trabajo es de 5 V, lo que simplifica el diseño para el consumo energético. En la *Figura 14* se observa el Arduino mega 2560.



Figura 14 Arduino Mega 2560

3.1.1.2 Sensores: Los sensores que se utilizarán serán los que se mencionan en la Tabla 4 los cuales van a depender de la variable a medir.

Tabla 4 Tabla Sensores a utilizar

VARIABLE	SENSOR
Humedad aire	DTH 22
Humedad tierra	YL69
Pluviometría	YL 83
Temperatura	DTH 22
GPS	GY-GPS6MV2
PH	Tester PH, Temperatura y Luminosidad
Luminosidad	GL55

Los sensores indicados en la tabla 2.1 son todos compatibles con Arduino, en el caso del PH esta medición se realiza con un tester el cual envía al Arduino por medio de una entrada análoga el valor adquirido. En la *Figura 15* se puede observar el tester de PH en funcionamiento.



Figura 15 Tester de PH Fuente

En la *Figura 16* se observa el sensor DTH 22 (temperatura y humedad)



Figura 16 Sensor DTH 22

En la *Figura 17* se muestra el sensor YL69 que será el utilizado para medir la humedad presente en la tierra.



Figura 17 Sensor YL 69

En la *Figura 18* se observa el sensor YL83 con el cual se va a medir la pluviometría.



Figura 18 Sensor YL83

En la *Figura 19* se ve el sensor GL55 el cual es utilizado para medir la luminosidad presente.



Figura 19 Sensor GL55

3.1.1.3 GPS: Se utiliza el modulo GY-GPS6MV2 es un módulo fácil de programar diseñado para ser compatible con Arduino e integrarse como un módulo al sistema. En la *Figura 20* se muestra el modulo GPS que se utilizará.



Figura 20 Modulo GPS6MV2

3.1.1.4 Transmisión: Para transmisión se tiene en cuenta tres tipos GSM, WIFI y Xbee. Se tuvieron en cuenta estos tres tipos de transmisión por los siguientes factores:

- GSM: Este tipo de transmisión se utiliza cuando en algunos nodos quedan fuera de rango de cobertura ya sea por la topografía o por las distancias existentes en el terreno. En este proyecto se utilizará el modelo GSM SIM900. En la *Figura 21* se muestra el módulo GSM SIM 900.



Figura 21 Modulo GSM SIM 900

- WIFI: Esta forma de transmisión es utilizada en casos que el nodo este cerca de un punto de acceso (router inalámbricos u otro), ya que en costos es la forma más económica que existe de transmisión. En la *Figura 22* se muestra el módulo Wi-Fi ESP8266.

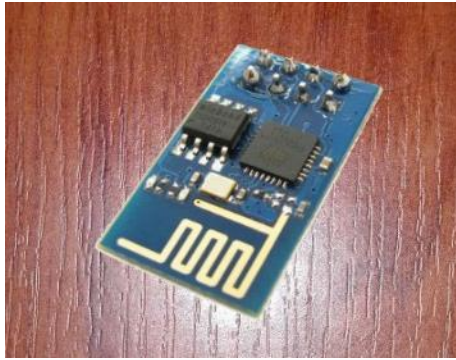


Figura 22 Modulo WI-FI ESP 8266

- Xbee: Es la forma de transmisión más utilizada en este tipo de redes por sus grandes ventajas en cuanto a consumo de energía vs transmisión de datos. En la *Figura 23; Error! No se encuentra el origen de la referencia.* se muestra el módulo Xbee Pro S2C conectado a Arduino mega 2560 por medio de una shield.



Figura 23 Modulo Xbee PRO S2C

3.1.1.5 Energía: En el tema de energía se utiliza el kit de cargador y batería tp4056, adicional se instala un panel solar de 5v 600ma, también cuenta con circuito para conectarse a la red eléctrica. En la *Figura 24* se muestra el diagrama de conexión de energía.

TP4056 1A Battery Charger Module with Protection Circuit

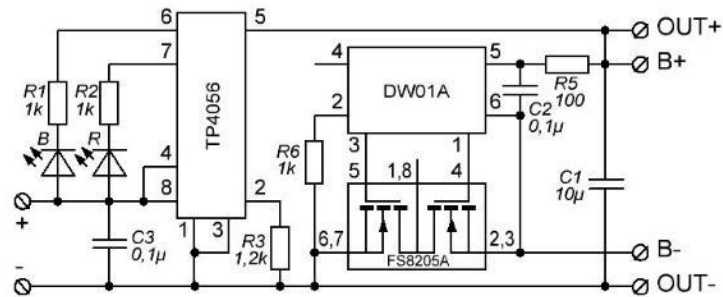


Figura 24 Diagrama de conexión Modulo TP 4056 [33]

3.1.2 Diseño de Software

El software se desarrolló mediante la arquitectura LAMP, la cual es una solución de gran rendimiento y disponibilidad. Tiene grandes ventajas ya que cuenta con gran documentación en la red y es una forma gratuita de poder desarrollar las técnicas de Big Data que se van a implementar. Para el desarrollo del software se utilizarón las siguientes herramientas:

Linux: Se utilizó la distribución Ubuntu server 12.04.4 instalada en un PC de mesa.

Apache: Como servidor Web se utilizó Apache que es actualmente el más popular del mundo, lo que hace que sea una buena opción para montar los sitios por el soporte con él que cuenta.

MySQL: es el sistema de gestión de base de datos utilizado, se encarga de organizar y facilitar el acceso a las bases de datos donde está la información.

PHP: es el componente de la configuración que procesará código para mostrar el contenido dinámico. Ejecuta secuencias de comandos, conecta la base de datos MySQL para obtener información, y entrega el contenido procesado al servidor web para mostrarlo.

3.2 Pruebas realizadas de Hardware y Software

3.2.1 Pruebas de Hardware

a) *Primera Prueba: LAN Cableada*

Se realizó un montaje con los siguientes elementos: Arduino 2560, sensor dth 22, sonda YL-69, sensor YL-38. Modulo Ethernet para Arduino.

La primera transmisión se realizó por medio de un switch al cual se le conecto en el puerto 1 un equipo portátil con arquitectura LAMP, el Arduino 2560 estaba conectada al puerto 2 del switch por medio del módulo Ethernet.

Direccionamiento: Arduino 192.168.1.20

PC (servidor) 192.168.1.10

En la *Figura 25* se observa el montaje del hardware físico y el en diagrama de bloques realizado para esta prueba.

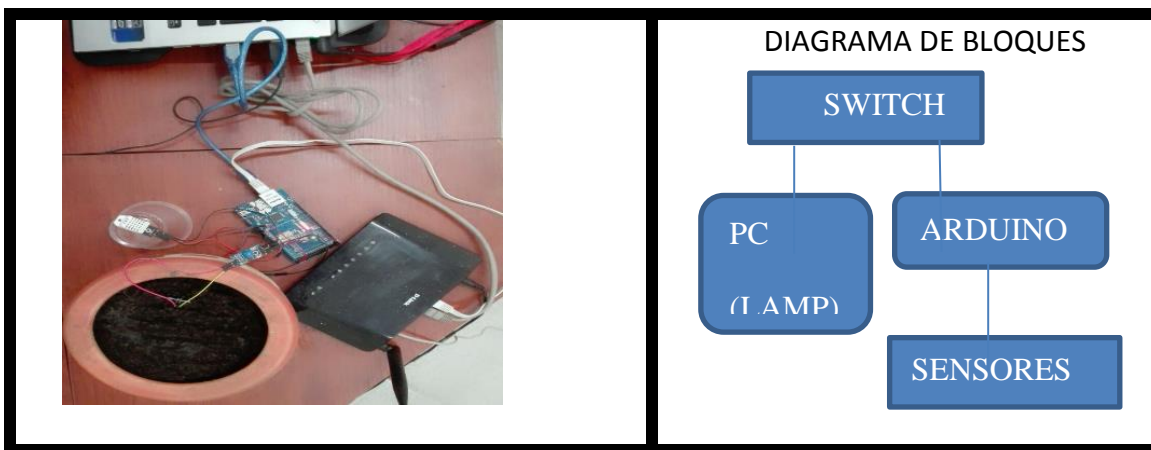


Figura 25 Montaje de hardware y diagrama de bloques prueba 1

El Arduino fue configurado para que transmitiera cada 30 segundos la información capturada por los instrumentos conectados a este. Se realizaron variaciones en las variables climáticas con el fin de verificar que existan cambios en la captura.

Análisis de la prueba 1

- Los datos fueron transmitidos con éxito, no existe pérdida de datos el retardo que existe entre la toma, el envío y la llegada de los datos es imperceptible.

- No existe colisión de paquetes.

- Se evidencia después de la transmisión por un periodo de 24 horas continuas que la variación significativa existió durante 2 periodos de tiempo, el primer periodo es donde se alteraron las variables y el segundo es cuando ocurren los cambios normales en las transiciones de día a noche.

- Consumo aproximado de 550 mA.

- Se revisa la base de datos y se evidencia que no ha existido pérdida en envío de datos, hay 2881 filas de datos.

b) Segunda Prueba: WAN - WIFI

Se realizó un montaje con los siguientes elementos: Arduino 2560, sensor dth 22, sensor de PH (tester), sensor de luminosidad, sonda YL-69, sensor YL-38, Módulo inalámbrico Wifi ESP8266, modulo GPS.

Equipo portátil con distribución Ubuntu, es conectado en el sitio 1 con las siguientes características:

- Operador de internet TELEBUCARAMANGA, conectado a router inalámbrico que fue configurado en modo bridge, en la tarjeta de red del portátil estaba la dirección pública 190.124.107.227.

- Arduino 2560 conectado inalámbricamente al router en sitio 2 con las siguientes características:

- Operador de internet UNE, dirección IP utilizada 192.168.1.10.
- Arduino configurado para transmitir cada 10 minutos.
- En la *Figura 26* se observa el montaje del hardware físico y el en diagrama de bloques realizado para esta prueba.



Figura 26 Montaje de hardware y diagrama de bloques prueba 2

Análisis de la prueba 2

- Los datos fueron transmitidos con éxito, no existe pérdida de datos.
- No existe colisión de paquetes.
- Se evidencia después de la transmisión por 24 horas continuas que la variación significativa solo ocurre en las variables de humedad ambiente, luminosidad y temperatura, la variable de PH no presenta cambios.
- Consumo aproximado de 700 mA.
- Aproximadamente 4 horas después de iniciada la transmisión se aplica cal (CA) disuelta en agua. Se evidencia el cambio en el PH.
- Se revisa la base de datos y se evidencia que no ha existido pérdida en envío de datos, hay 145 filas de datos.

- La coordenada entregada por el modulo GPS tiene un margen de error de aproximadamente 20m, respecto al sitio de ubicación del sensor.

c) Tercera Prueba: WAN – GSM

Se realizó el montaje con los siguientes elementos: Arduino 2560, sensor dth 22, sensor de PH (Tester), sensor de luminosidad, sonda YL-69, sensor YL-38, Módulo GSM / GPRS SIM900, modulo GPS.

Se instaló el equipo portátil con distribución Ubuntu, instalado en sitio 1 (operador de internet TELEBUCARAMANGA), conectado a router inalámbrico que fue configurado en modo bridge, en la tarjeta de red del portátil estaba la dirección pública 190.124.107.227. así mismo el Arduino 2560 fue conectado por medio de módulo GSM a la red de CLARO, y fue configurado para transmitir cada hora (mensajes de texto). En la *Figura 27;Error! No se encuentra el origen de la referencia.* se observa el montaje del hardware físico y el en diagrama de bloques realizado para esta prueba.

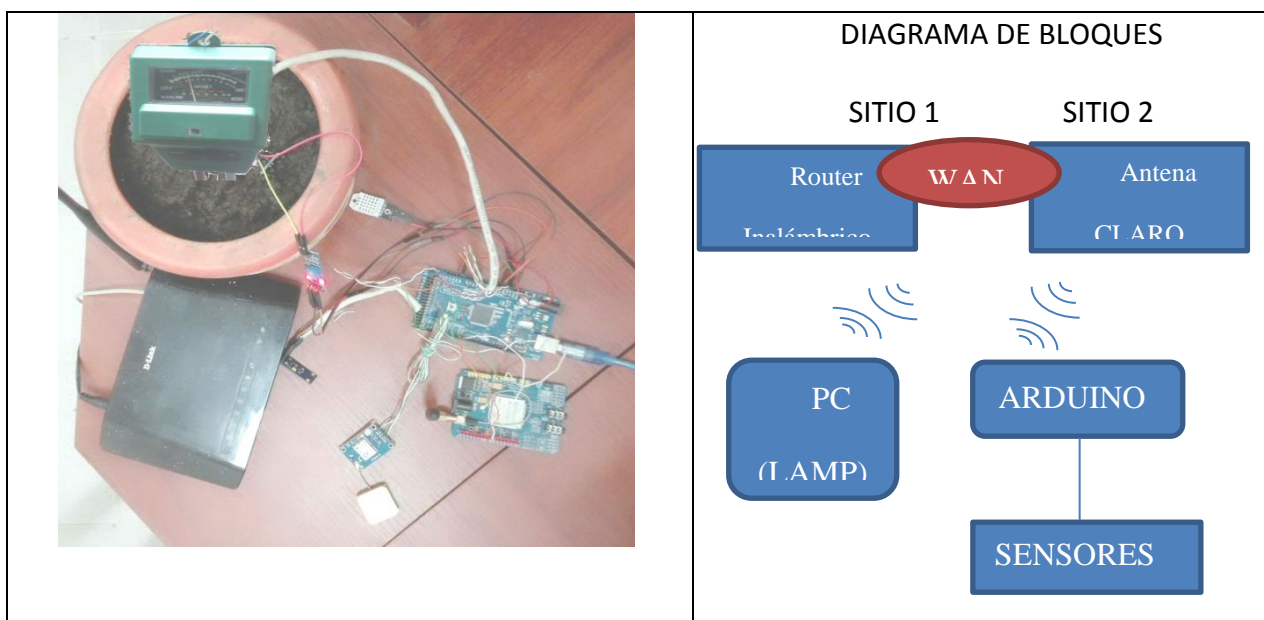


Figura 27 Montaje de hardware y diagrama de bloques prueba 3

Análisis de la prueba 3

- Los datos fueron transmitidos con éxito, no existe pérdida de datos.
- No existe colisión de paquetes.
- Se evidencia después de la transmisión por más 24 horas continuas que la variación significativa solo ocurre en las variables de humedad ambiente, luminosidad y temperatura, la variable de PH no presenta cambios.
- Consumo aproximado de 600 mA.
- Se revisa la base de datos y se evidencia que no ha existido perdida en envío de datos, hay 25 filas de datos.

d) Cuarta Prueba: LAN – XBEE

Para el Nodo 1, Emisor: Se realizó un montaje con los siguientes elementos: Arduino 2560, sensor dth 22, sensor de PH (Tester), sensor de luminosidad, sonda YL-69, sensor YL-38, modulo GPS, módulo Xbee pro.

Nodo 2, Receptor: Se realizó un montaje con los siguientes elementos: Arduino 2560, modulo Ethernet, módulo Xbee pro. En la Tabla 5 se muestra la programación para cada uno de los nodos (Emisor y Receptor) la cual se realizó por medio del software X –CTU en cada uno de los Xbee. En la Tabla 5 se muestra la configuración utilizada en cada nodo Xbee.

Tabla 5 Configuración Xbee

	EMISOR	RECEPTOR
PAN ID	9032	9032
DH	0	0
DL	1	0
MY	0	1

El nodo receptor está conectado por medio del módulo Ethernet a un switch (puerto 1), un equipo portátil con arquitectura LAMP conectada al (puerto 2) switch.

Direccionamiento: Modulo Ethernet 192.168.1.20

PC (servidor) 192.168.1.10

En la *Figura 28* se observa el montaje del hardware realizado para esta prueba.

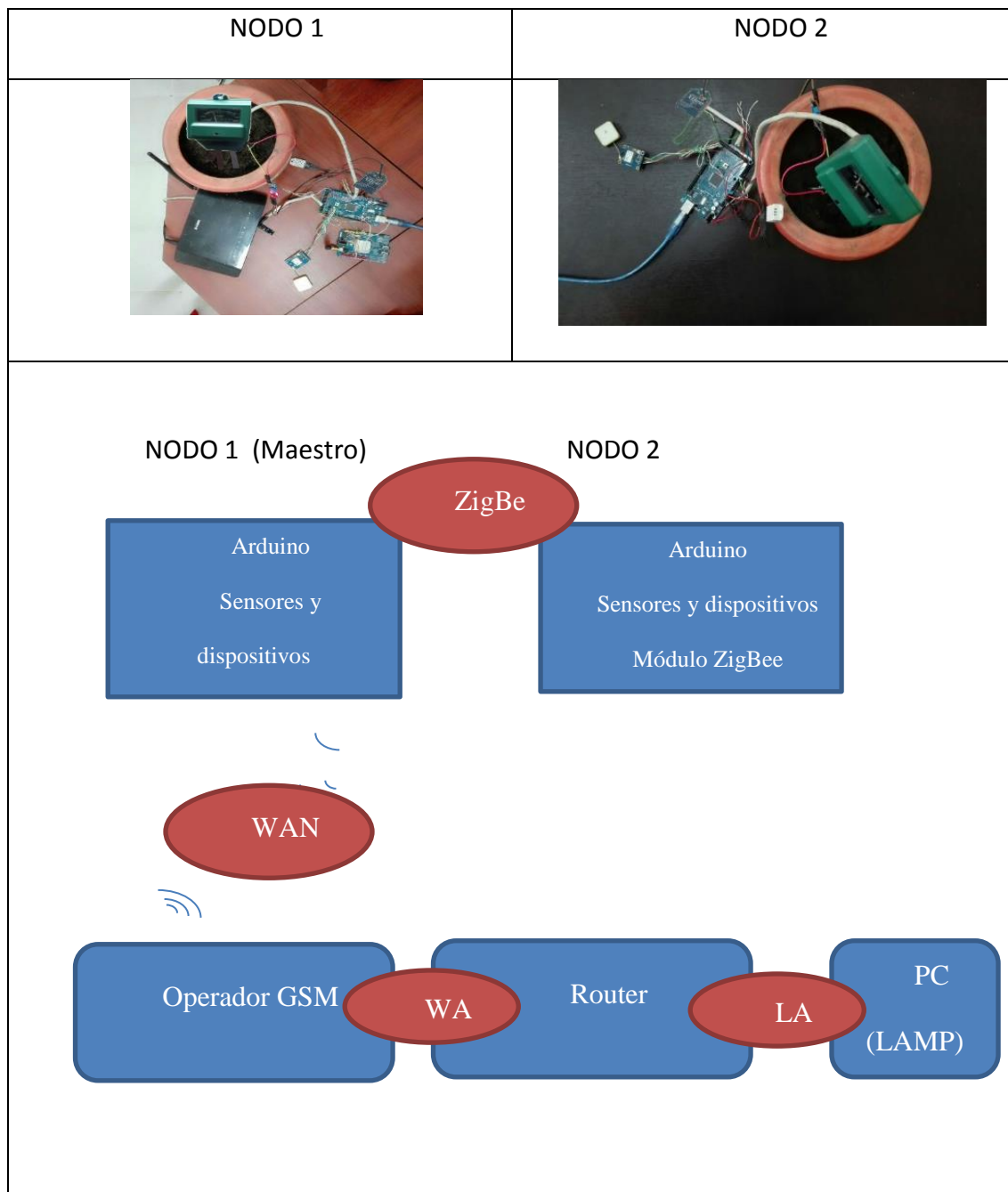


Figura 28 Montaje de hardware y diagrama de bloques prueba 4

Análisis de la prueba 4

- Los datos transmitidos no presentan pérdidas de datos.
- Se evidencia después de la transmisión por más 24 horas continuas que la variación significativa solo ocurre en las variables de humedad ambiente, luminosidad y temperatura, la variable de PH no presenta cambios. (Transmisión de datos cada hora)
- Consumo aproximado Nodo 1 600mA. (En Transmisión)
- Consumo aproximado Nodo 2 600mA (En Transmisión)
- Se revisa la base de datos y se evidencia que no ha existido pérdida en los datos, hay 25 filas de datos.

3.2.2 Pruebas de Software

3.2.2.1 Prueba: WAN – GSM + RASPBERRY PI 3

Se realizó un montaje con los siguientes elementos: Arduino 2560, sensor dth 22, sensor de PH (Tester), sensor de luminosidad, sonda YL-69, sensor YL-38, Módulo GSM / GPRS SIM900, modulo GPS. Las características de conexión son:

- ✓ Rasperry pi 3 con distribución rasbian, adicional tenía instalado como base de datos PHPMYADMIN y MYSQL, instalado en sitio 1 (operador de internet TELEBUCARAMANGA), conectado a router inalámbrico que fue configurado en modo bridge, en la tarjeta de red del portátil estaba la dirección pública 190.124.107.227.
- ✓ Arduino 2560 conectado por medio de módulo GSM a la red de CLARO.
- ✓ Arduino configurado para transmitir cada hora (mensajes de texto).

En la *Figura 29* se observa el montaje de hardware realizado para la prueba de software.

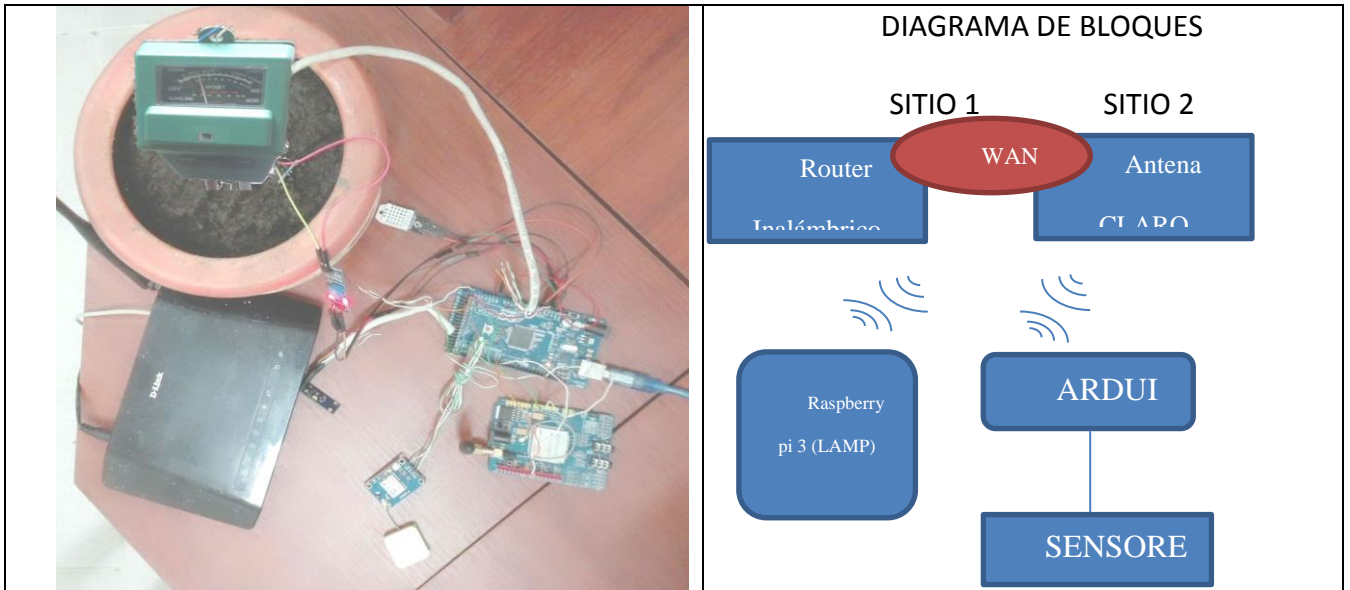


Figura 29 Montaje y diagrama de bloques para prueba de Software

Análisis de la prueba de software

- Los datos transmitidos presentan perdidas de datos.
- Demora en el procesamiento y en el cargue a la base de datos.
- Se evidencia después de la transmisión por más 24 horas continuas que la variación significativa solo ocurre en las variables de humedad ambiente, luminosidad y temperatura, la variable de PH no presenta cambios.
- Consumo aproximado Arduino 600mA.
- Consumo aproximado Raspberri 2.5 A
- Se revisa la base de datos y se evidencia que ha existido perdida en los datos, hay 21 filas de datos.
- Demora en el acceso a la base de datos de manera remota y dentro de la misma Raspberry (demora en carga de la base de datos)

3.2.3 Pruebas de sistema de energía

Se realizó un montaje con los siguientes elementos: Arduino 2560, sensor dth 22, sensor de ph (Tester), sensor de luminosidad, sonda YL-69, sensor YL-38, Módulo Xbee, modulo GPS.

Se conectaron los elementos mencionados anteriormente a un cargador de baterías LIPO TP4056 que cuenta con una batería tipo celular BL5C (desde 600mA hasta 1000mA), adicional a esto se conectó un panel solar para realizar la recarga de la batería. Panel de 5v 600mA.

Análisis de la prueba de energía

La prueba que se realizo fue enviar datos cada hora durante un periodo de 24 horas. Se recibieron 25 datos a la base de datos lo que evidencia que no hubo pérdida de información.

3.3 Diseño carcasa

El diseño de la carcasa propuesto tiene unas medidas de 23 X 23 X 10 cm, está diseñada para ser maquinada en polipropileno, está dividida básicamente en 4 partes, donde iran los cuatro módulos del diseño:

- a) Transmisión
- b) Procesamiento
- c) Potencia
- d) Sensorica

La carcasa cuenta con dos conectores para los diferentes instrumentos y adicionalmente cuenta con una base para ser sujeta a un mástil.

Las *Figura 30* y *Figura 31* muestran el diseño de la carcasa.



Figura 30 Diseño carcasa vista superior

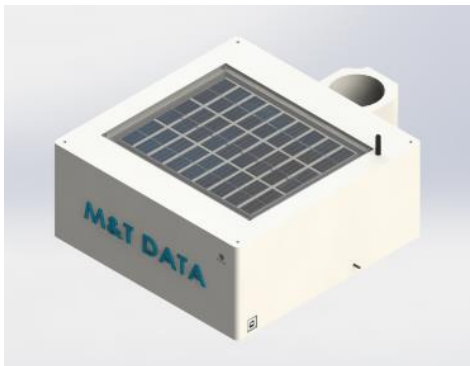


Figura 31 Vista corte diseño carcasa

3.4 Diseño y condiciones finales de Hardware y Software

Después de haber realizado las diferentes pruebas descritas en las secciones 2.1, 2.2 y 2.3 y evaluando los comportamientos presentados en cada una de ellas, el diseño final de hardware y software que se tendrá en cuenta para realizar las pruebas será el siguiente:

Hardware: Arduino 2560, sensor dth 22, sensor de ph (Tester), sensor de luminosidad, sonda YL-69, sensor YL-38, Módulo Xbee, modulo GPS. En la *Figura 32* se muestra el diseño final del hardware.

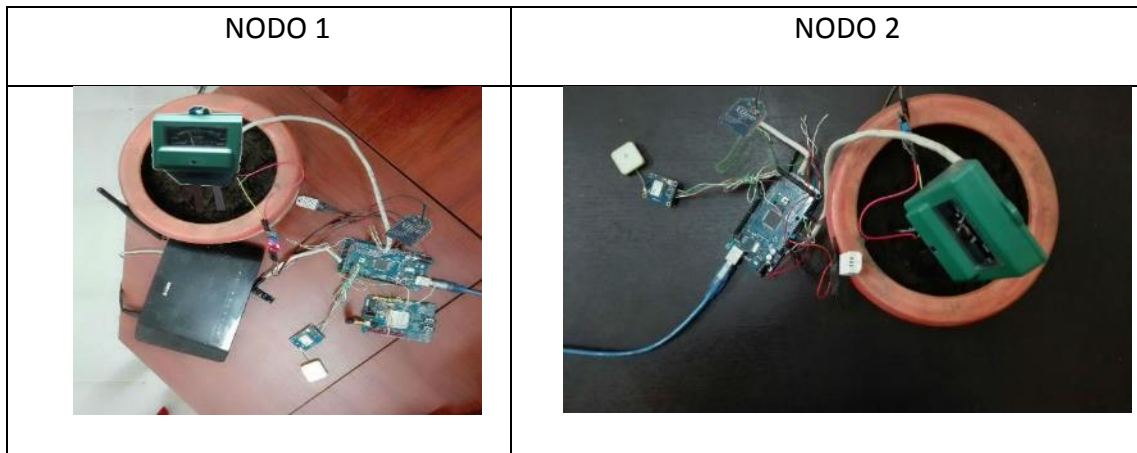
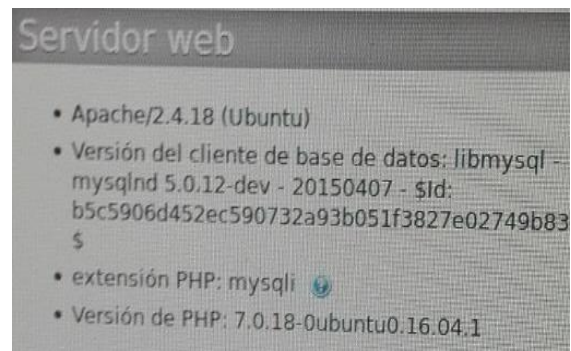
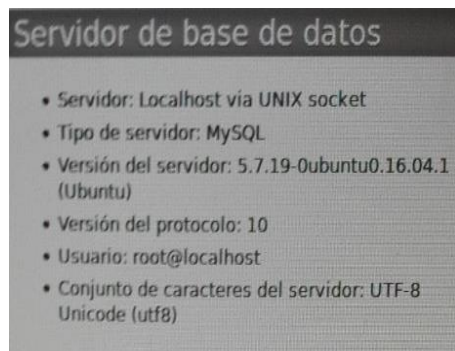


Figura 32 Diseño final de Hardware

El Software basado en la Arquitectura LAMP estará conformado por: L: Linux Distribución UBUNTU 16.04, A: Apache httpd 2.4.18, M: MySQL 5.7.19 y P: PHP 7.0.18. En la *Figura 33* se muestra las características con quedo montado la arquitectura LAMP.



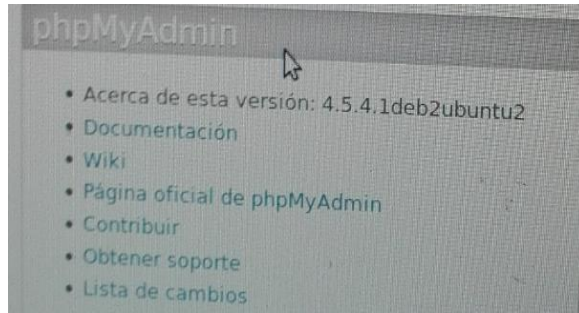


Figura 33 Imagen modelo LAMP implementado

3.5 Técnicas de Big data (minería de datos)

En la aplicación de técnicas de minería de datos se realizaron pruebas para la predicción de la humedad del suelo. Esta predicción se realiza tomando la diferencia que existe entre las diferentes valores de la humedad y se calcula el promedio que existe entre estas. En la *Figura 34* se puede observar la descomposición de los datos en cuatro arrays para poder calcular el valor medio de la humedad en cada una de las horas.

Array 1	Array 2
Datos Humedad suelo de 8:00 a 14:00	Datos Humedad suelo de 14:00 a 18:00
[[
Hum_S8 D1 - Hum_S14 D1	Hum_S14 D1 - Hum_S18 D1
Hum_S8 D2 - Hum_S14 D1	Hum_S14 D2 - Hum_S18 D1
Hum_S8 D3 - Hum_S14 D1	Hum_S14 D3 - Hum_S18 D1
.	.
.	.
]]

Array 3	Array 4
Datos Humedad suelo de 18:00 a 1:00	Datos Humedad suelo de 1:00 a 8:00
[[
Hum_S18 D1 - Hum_S1 D1	Hum_S1 D1 - Hum_S1 D1
Hum_S18 D2 - Hum_S1 D1	Hum_S1 D2 - Hum_S8 D1
Hum_S18 D3 - Hum_S1 D1	Hum_S1 D3 - Hum_S8 D1
.	.
.	.
]]

Figura 34 Formación de array para minería de datos

En caso de que en algún momento el valor de la diferencia entre las dos humedades calculadas sea negativo por motivos de lluvia o riego, este valor no será tomado en cuenta para los cálculos.

Una vez obtenido el valor promedio de la humedad del suelo, se realiza la suma del promedio al valor actual de la humedad con el fin de calcular el tiempo que el cultivo puede permanecer sin riego.

4.Resultados

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos a partir de la metodología planteada para el diseño del hardware y software del sistema. Se realizaron diferentes pruebas para así poder obtener los criterios más adecuados en la captura y transmisión de las variables edafoclimaticas presentes en los cultivos de palma africana, de igual forma se definieron algunos criterios sobre las técnicas de Big Data para la optimización de los datos obtenidos por los nodos.

4.1 Un solo nodo transmitiendo.

a) Pruebas realizadas con tierra tomada de un cultivo sin presencia de PC

Se realizaron pruebas de adquisición de datos cuatro veces al día en los siguientes horarios 8 am, 2 pm, 6pm y 1 am. Estos horarios fueron elegidos ya que en estas horas es donde presentan una variación significativa.

Se creó una tabla en phpmyadmin a la cual, adicional a los campos de las variables edafoclimaticas, se anexaron tres campos adicionales, uno con el nombre de ID cuya función es de hacer de llave primaria con el fin que sea el campo de control de los registros, otro con un numero para identificar a el nodo que está transmitiendo y otro será la fecha y hora de llegada del dato a la tabla.

Los resultados se obtuvieron analizando una muestra de tierra de un cultivo de palma donde no estaba presente la PC. En la *Figura 35* se muestran los datos tomados al inicio de la prueba de las variables edafoclimaticas:



Figura 35 Datos primera captura en la base de datos

Los datos obtenidos las siguientes 24 horas de las variables edafoclimaticas presentes en una muestra de tierra sin presencia de PC son los que se muestran en la *Figura 36*

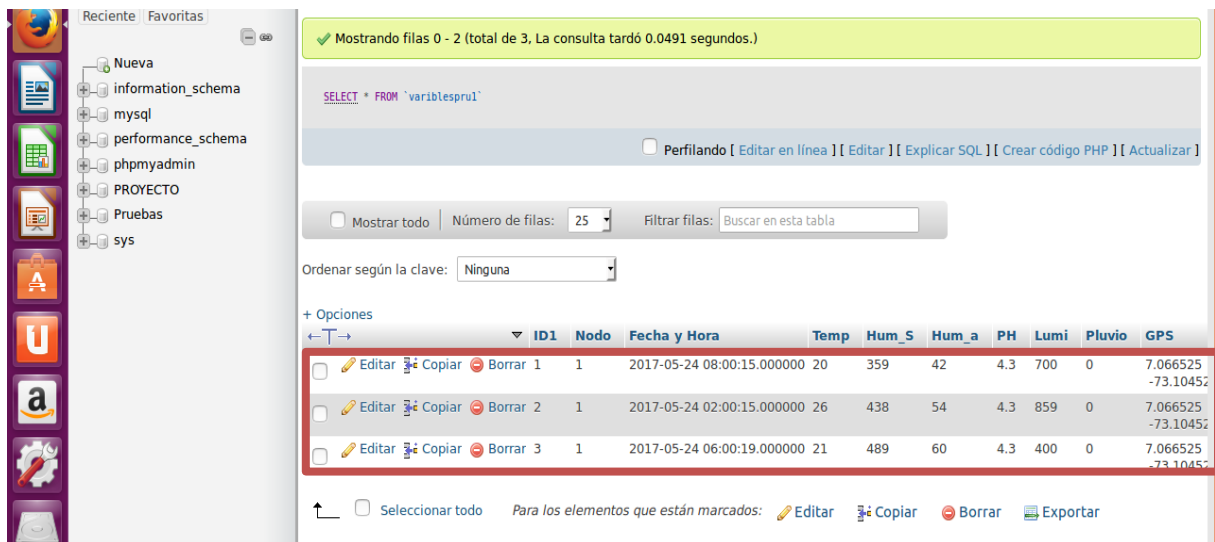


Figura 36 Datos Muestras obtenidas primeras 24 horas

Como se puede observar en la *Figura 36* la transmisión de la 1 am no se realizó, esto debido a que la tensión no fue suficiente. Por lo que se cambia la hora de envío del dato a las 8am.

4.2 Dos nodos transmitiendo.

4.2.1 Esquemas de conexión

En la *Figura 37* se muestra el esquema de conexión utilizado en los dos nodos que realizaron la captura de las variables edafoclimaticas, sin presencia de PC (Nodo 1) y con presencia de PC (Nodo 2).

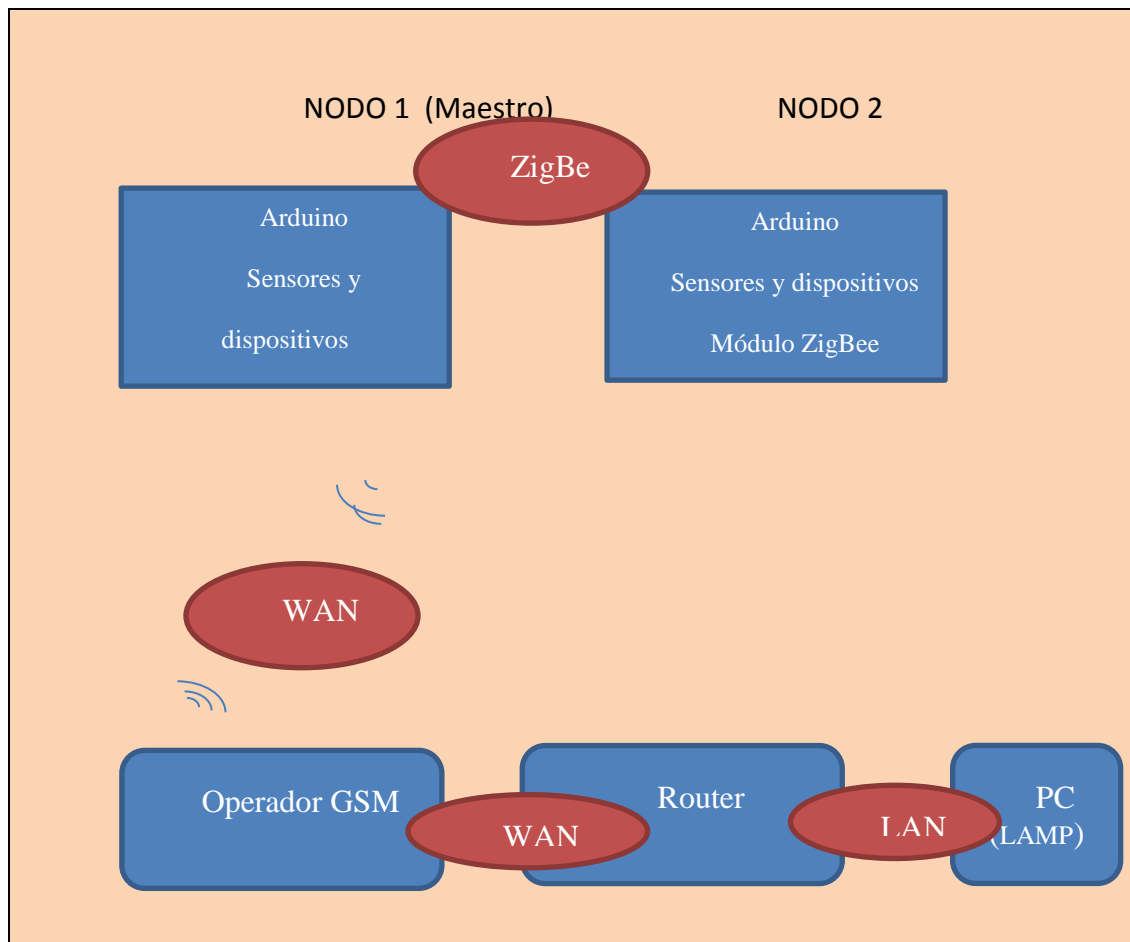


Figura 37 Esquema De Conexión Nodos

a) Pruebas realizadas con tierra tomada de un cultivo sin presencia de PC

Dentro de la información que se obtuvo al practicar las diferentes pruebas la captura de los datos se realizara durante 4 veces al día, en los siguientes horarios 8 am, 2 pm, 6pm y 1 am, los datos en estas horas es donde presentan una variación significativa.

La transmisión de los datos capturados se realizará 3 veces al día. Esto significa que la captura realizada a la 1 am será transmitida por cuestiones de consumo de energía junto con la de 8 am.

Los nodos estaban conectados entre sí por medio de protocolo Zigbee, de estos nodos uno actuó como maestro y envió los datos al servidor por medio de la red GSM de la operadora CLARO.

Los resultados se obtuvieron analizando dos muestras de tierra, una muestra de tierra de un cultivo de palma donde no estaba presente la PC y otra que se tomó de un cultivo de palma donde existe presencia de PC.

En la *Figura 38* se observa la imagen de la tabla de phpmyadmin donde se observa la captura continua durante un periodo de 72 horas de las variables edafoclimaticas capturadas por los dos nodos y transmitidas a la base de datos.

	ID	Nodo	Fecha y Hora	Temp	Hum_S	Hum_a	PH	Lumi	Pluvio	GPS
<input type="checkbox"/>	5	1	2017-05-25 18:00:38	23.4	469	81.4	5.1	410.2	0	7.066525 -73.104523
<input type="checkbox"/>	6	2	2017-05-25 18:00:45	23.1	421	81.6	3.8	408.9	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	7	1	2017-05-26 08:00:19	22.1	542	74.1	5.1	50.1	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	8	2	2017-05-26 08:00:22	23.2	159	75.3	3.8	68.1	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	9	1	2017-05-26 08:00:38	23.8	594	72.3	5.1	682.3	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	10	2	2017-05-26 08:00:43	23.9	237	73.9	3.8	690.4	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	11	1	2017-05-26 14:00:10	27.9	625	78.9	5.1	791.5	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	12	2	2017-05-26 14:00:27	28.4	383	79.5	4.1	795.9	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	13	1	2017-05-26 18:00:32	22.3	688	82.6	5.1	450.6	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	14	2	2017-05-26 18:00:44	23.1	409	83.2	4.1	452.8	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	15	1	2017-05-27 08:00:15	19.7	714	76.5	5.2	51.2	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	16	2	2017-05-27 08:00:18	20.2	439	78.6	4.2	70.9	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	17	1	2017-05-27 08:00:22	24.2	758	69.7	5.1	692.7	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	18	2	2017-05-27 08:00:27	24.9	482	70.4	4.3	694.5	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	19	1	2017-05-27 14:00:34	27.6	792	75.1	5.1	812.5	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	20	2	2017-05-27 14:00:40	27.4	563	76.3	4.3	815.3	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	21	1	2017-05-27 18:00:36	24.1	819	78.4	5.1	416.8	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	22	2	2017-05-27 18:00:48	23.8	595	79.6	4.4	418.2	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	23	1	2017-05-28 08:00:29	20.7	839	76.2	5.1	62.4	0	7.066525 -73.104522
<input type="checkbox"/>	24	2	2017-05-28 08:00:32	20.4	629	76.9	4.4	65.9	0	7.066525 -73.104522

Figura 38 Datos variables edafoclimaticas transmitidas por los dos nodos

En la Figura 39 se muestra que los terrenos que no sufren de Pudrición de Cogollo (PC) evidencian que el PH está en un punto neutro no es ni alcalino ni son ácidos los suelos, adicionalmente se puede observar que no existe una variación significativa del PH.

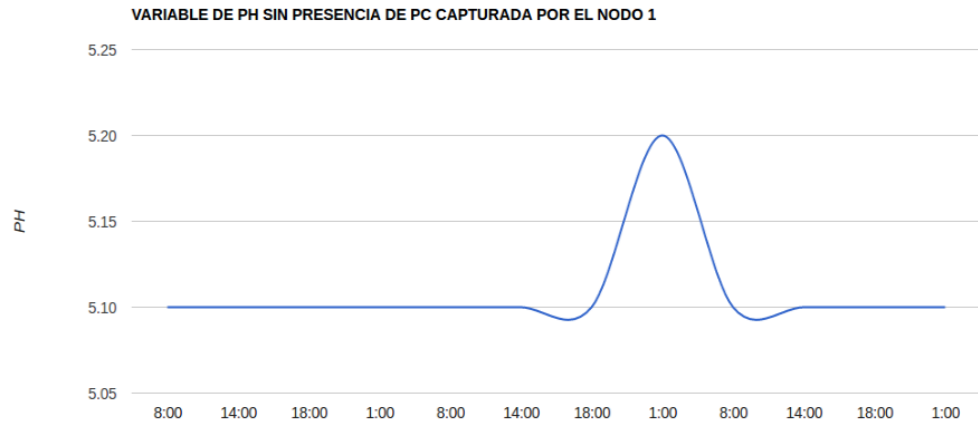


Figura 39 Captura variable de PH cultivo de palma sin presencia de PC

En la *Figura 40* se muestran los resultados correspondientes a la luminosidad. Se puede observar el ciclo que evidencia la diferencia del día y la noche.

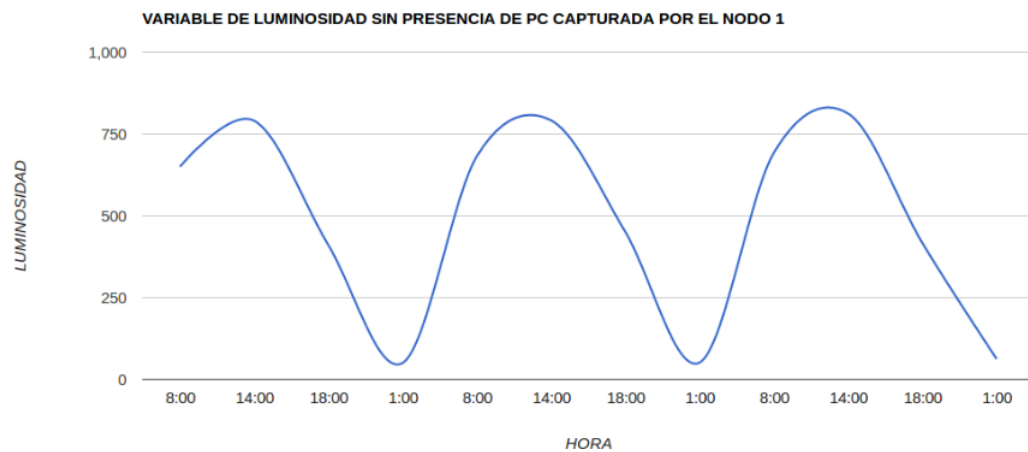


Figura 40 Captura variable de luminosidad cultivo sin presencia de PC

En la *Figura 41* se muestran los cambios de la temperatura que se presentan durante las 72 horas que duró la evaluación en la muestra de tierra sin presencia de PC.

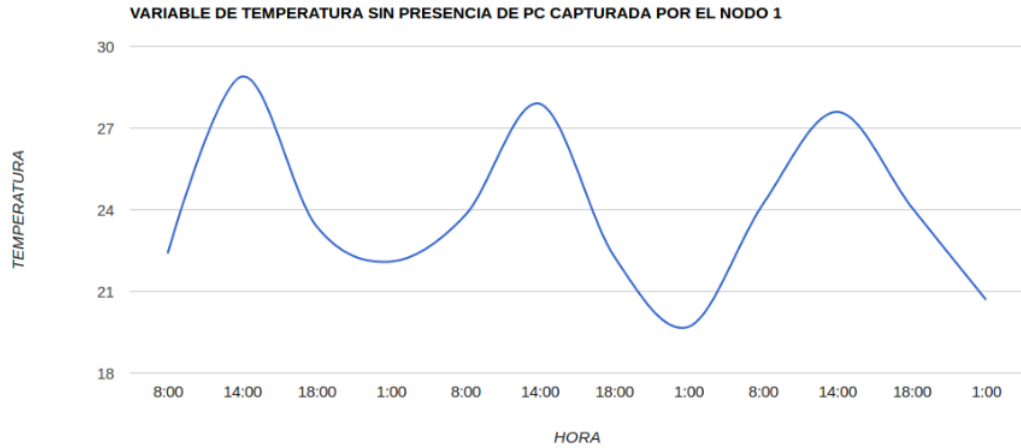


Figura 41 Captura variable de temperatura en cultivo sin presencia de PC

En la *Figura 42* se muestran los resultados de la humedad ambiente tomada por el nodo instalado en la tierra que no presenta PC.

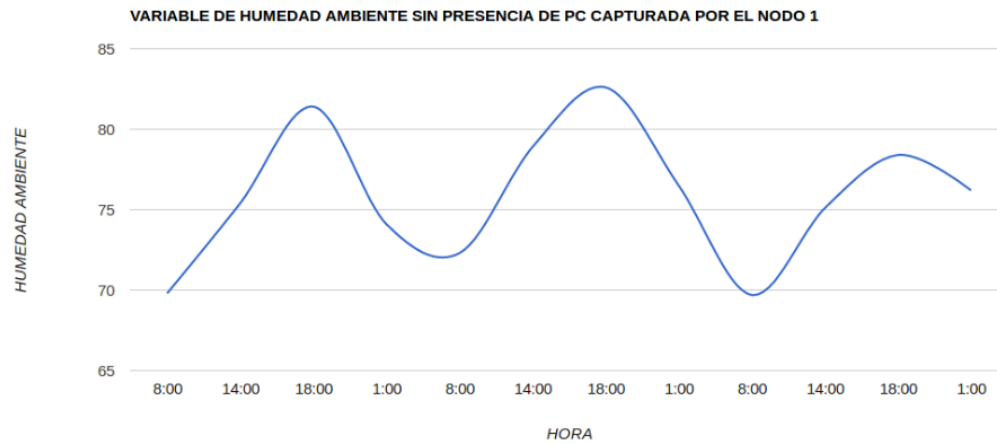


Figura 42 Captura variable de humedad ambiente cultivo sin presencia de PC

b) Pruebas realizadas en cultivos con Pudrición de Cogollo (PC)

El siguiente nodo se encuentra instalado en un recipiente que contiene tierra tomada de un cultivo que tiene PC.

Con el fin de verificar que existiera una variación de PH en el la tierra con presencia de PC, veinticuatro (24) horas después de iniciada la transmisión se realizó una aplicación de cal disuelta en agua en la tierra con presencia de PC. En la *Figura 43* se puede observar la temperatura ambiente la cual se midió durante un periodo de 72 horas. Los datos fueron transmitidos por el nodo 2, el cual estaba instalado en un recipiente que contiene tierra procedente de un cultivo que tenía PC.

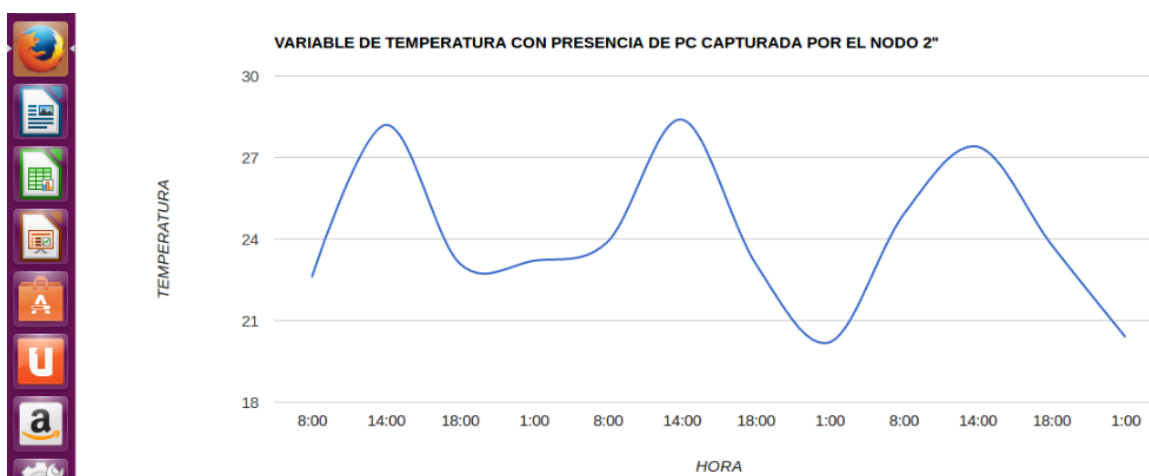


Figura 43 Captura variable de Temperatura muestra de tierra con presencia de PC.

En la *Figura 44* se muestra el comportamiento del PH, como se puede observar el PH está en la zona denominada acida, como ya se mencionó se va a forzar que realice un cambio con el fin de tratar de llevarlo a una zona de PH neutra.

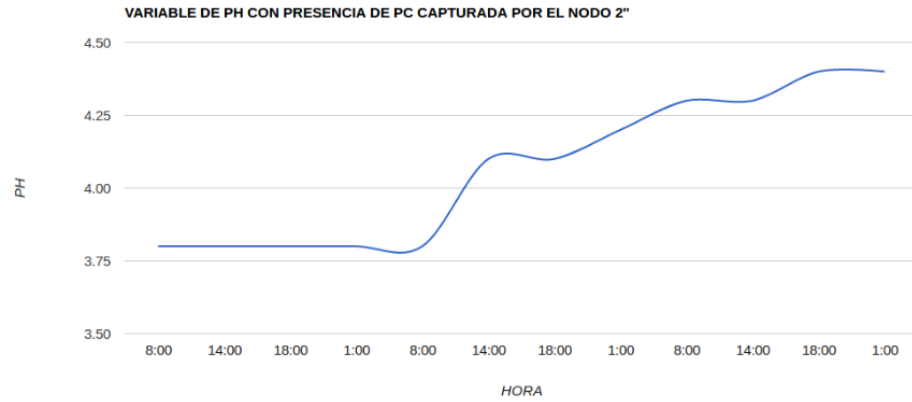


Figura 44 Captura variable de PH muestra de tierra con presencia de PC

En la *Figura 45* se realiza la captura de la variable de luminosidad para el recipiente donde se encuentra alojada la tierra con presencia de PC.



Figura 45 Captura variable de Luminosidad muestra de tierra con presencia de PC.

En la *Figura 46* se muestran los valores medidos para la humedad presente en el recipiente que contiene tierra con presencia de PC, acá hay que tener en cuenta que después de 12 horas

de empezada la prueba se aplicó la cal disuelta en agua, por esta razón presenta la variación que se observa en la *Figura 46*.

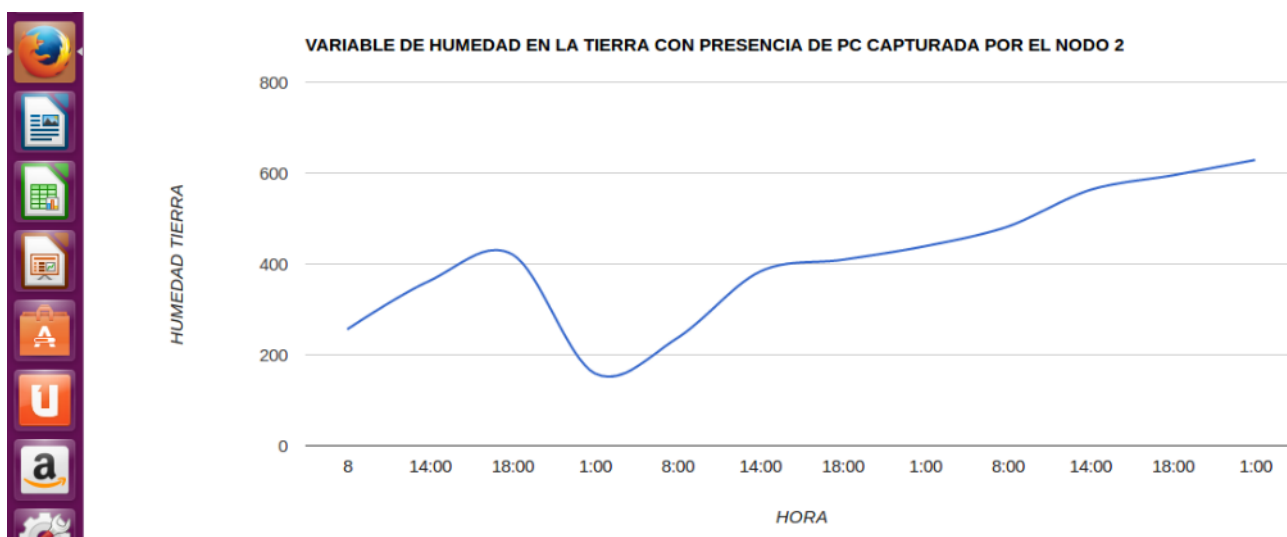


Figura 46 Captura variable de Humedad de la tierra muestra de tierra con presencia de PC.

La validación del funcionamiento del sistema se realizó mediante pruebas con tierra recolectada en una misma plantación donde una parte del cultivo tenía presencia de PC y otra no. Se configuraron los dos nodos para transmitir las variables edafoclimaticas presentes en estas muestras, como se puede observar en la *Figura 47* . Se evidencia el comportamiento del PH de las muestras de la tierra en los cultivos con presencia de PC y sin presencia de PC, se demuestra que la tierra con presencia de PC es más acida que la tierra sin PC, validando la investigación del Dr. Laing presentada en “La Causa de la Pudrición de Cogollo en la Palma de Aceite (PC):Evidencias del Rol del Calcio en una Hipótesis Abiótica”

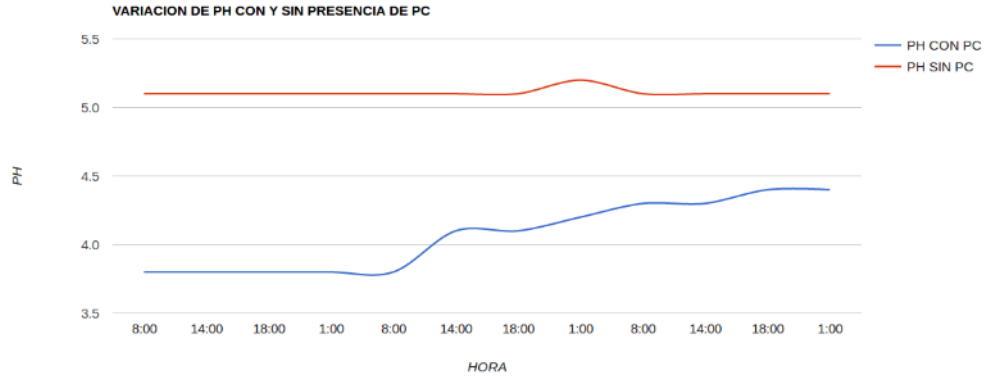


Figura 47 Diferencias de PH

4.2.2 Minería de datos

Para la minería de datos se realizó la prueba de calcular cual sería la posible humedad presente en el suelo en el horario de las 14:00 del siguiente día después de acabada la captura. En la Figura 48 se muestra la captura del cálculo del promedio de secado que harán en los dos nodos analizados.



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
MAESTRIA EN REDES Y SISTEMAS DE COMUNICACION
LUIS MIGUEL PIAMONTE PARDO

El promedio de secado entre las 8:00 y las 14:00 es:
256
La posible humedad del suelo a las 14:00 del nodo 1 es:
1095 DEBE REGAR
La posible humedad del suelo a las 14:00 del nodo 2 es:
885 PUEDE ESPERAR

Figura 48 Minería de datos

5. Conclusiones

En este trabajo de grado se diseñó una red de sensores inalámbrica para la monitorización y transmisión de datos del suelo y ambientales en tiempo real en los cultivos de palma.

Durante el proceso de diseño, se realizó un levantamiento de información tecnológica y de infraestructura de los cultivos de palma africana. Se recopiló y estudió la documentación sobre el ciclo de producción de la palma de aceite. se identificaron las condiciones climáticas presentes en los cultivos, lo cual permitió comprobar las deficiencias presentadas en los mismos y en base a esto se establecieron los requerimientos que debía cumplir el sistema de comunicación planteado

Se realizó un estudio sobre el origen de la pudrición de cogollo y se identificaron los tipos de datos que son necesarios capturar en el suelo y en el ambiente para generar una alerta temprana

Se realizaron diferentes pruebas en laboratorio, con el fin de poder optimizar el nodo que será instalado dentro de la red de sensores inalámbrica, se verificaron cuáles eran las variables edafoclimáticas más significativas y las que causaban mayor impacto al evaluar la posible presencia de PC en los cultivos de palma.

Se evidencia que la palma africana es una planta que tolera suelos moderadamente ácidos ($\text{PH} \geq 5 \leq 6$), temperaturas superiores a los 28 grados centígrados, humedades sobre el 75% y como mínimo necesita 125 horas luz al mes para un grado de producción óptimo.

Con la revisión bibliográfica del estado del arte de los sistemas de monitoreo (redes de sensores) y normativas actuales, se estableció que estos sistemas en Colombia por lo general se trabajan en banda libre; adicional a esto la mayoría de equipos disponibles en el mercado están

diseñados para trabajar en frecuencias libres (2.4 y 5) que permite que los costos en la implementación de las WSN se han aseguibles a los pequeños y medianos agricultores.

Se identificaron los parámetros con los que debe contar el sistema las variables edafoclimáticas: PH, Humedad ambiente, Humedad del suelo, Temperatura ambiente y Pluviometría, ya que estos son los que directamente intervienen en la aparición de la PC de forma abiótica en los cultivos de palma africana.

Dentro de las características importantes con las que debe contar cada nodo se identifica que estos deben tener instalado GPS con el fin de determinar cómo es la variación de las variables de PH y Humedad del suelo de acuerdo al tipo de suelo presente en la zona (arcilloso, arenoso, entre otros).

Durante el diseño de la infraestructura lógica del sistema se realizaron pruebas utilizando un servidor Ubuntu y una raspberry con el mismo modelo LAMP instalado en ellos y se evidencia que la memoria RAM y el procesador presentes en el servidor son importantes para que no exista pérdida de datos.

Respecto a la implementación de técnicas de BIG DATA se requiere de un software que por lo general es licenciado, sin embargo a pesar de existir Hadoop como una solución en Linux (licencia GNU), no es una herramienta que requiere de muchos recursos computacionales para ser realizado en un equipo de baja gama, ya que requiere realizar de una cantidad importante de procesamiento de datos.

Se logró disminuir el consumo energético en la transmisión utilizando tecnología Xbee.

Se hizo necesario reducir el envío de las cuatro capturas de las variables edafoclimáticas a tres transmisiones, esto debido al problema de consumo de energía a las 01:00 horas. El sistema quedaba con poca energía y en el envío del intervalo de 01:000 a 06:00 horas se descargaba. Se

concluye que se deben realizar tres transmisiones por lo que los datos capturados a las 01:00 horas se transmiten junto con los de las 08:00 horas.

Se recomienda ampliar el estudio en situ para analizar el comportamiento de los dispositivos en condiciones reales. Así mismo se recomienda ampliar la aplicación de un modelo matemático para analizar la humedad del suelo en un sistema más robusto de Big Data.

Publicaciones

Miguel Piamonte, Monica Huerta, Roger Clotet, Jhon Padilla y Tito Vargas “WSN Prototype for African Oil Palm Bud Rot Monitoring” The International Conference of ICT for Adapting Agriculture to Climate Change (AACC'17), Popayan-Colombia, 22-24 November 2017. (en espera de aceptación)

I Workshop de aplicaciones de las TIC en los sectores económicos.

Autor: Piamonte Pardo, Luis Miguel. Email: miguelpiamonte@gmail.com

Director: Huerta, Monica Karel. Email: monica.huerta@gmail.com

Fecha de entrega: 17-08-2017

Referencias

- [1] FEDEPALMA, «La Palma de aceite en Colombia,» Febrero 2016. [En línea]. Available:
<http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Infografi%CC%81a%20General%20de%20COLOMBIA.pdf>.
- [2] REVISTA DINERO, «<http://www.dinero.com/edicion-impres/negocios/articulo/en-que-esta-palma-africana-2015/208957>,» 27 Mayo 2015. [En línea]. Available:
<http://www.dinero.com/edicion-impres/negocios/articulo/en-que-esta-palma-africana-2015/208957>.
- [3] Conferencia Mundial del sector palma africana, 12 Marzo 2015. [En línea]. Available:
<http://www.iuf.org/w/sites/default/files/Palma%20africana%20-%20Documento%20informativo.pdf>.
- [4] CENIPALMA, 2016. [En línea]. Available: <http://www.cenipalma.org/quienes-somos-cenipalma>.
- [5] Infoagro Systems, S.L., «El cultivo de la palma africana,» 2016. [En línea].
- [6] CONASI, «ACEITE DE PALMA: ¿UNA AMENAZA PARA LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE?,» 2017. [En línea]. Available:
<https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/aceite-de-palma-una-amenaza-para-la-salud-y-el-medio-ambiente/>.
- [7] AGROMETER, « LA PALMA,» 8 Diciembre 2015. [En línea]. Available:
<http://agrometer.co/wp/category/cultivos/>.

- [8] FONADE E IDEAM. , «EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCION Y RENDIMIENTO DE CULTIVOS POR SECTORES,» Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatico+en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85>.
- [9] croplifela.org, «Pudrición del Cogollo PC (Phytophthora palmivora),» 2015. [En línea]. Available: <http://www.croplifela.org/es/proteccion-de-cultivos/plaga-del-mes/pudricion-del-cogollo-pc.html>.
- [10] G. M. López, «Avances en la solución de la Pudrición del Cogollo de la palma de aceite en Colombia,» 2008. [En línea]. Available: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/viewFile/1341/1341>.
- [11] D. A. y. P. Rocha, «Análisis de diversidad genética en materiales tolerantes y susceptibles a la pudrición de cogollo en palma de aceite mediante marcadores moleculares,» 2004. [En línea]. Available: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/viewFile/1004/1004>.
- [12] D. Laing, «La Causa de la Pudrición de Cogollo en la Palma de Aceite (PC):Evidencias del Rol del Calcio en una Hipótesis Abiótica,» 2011. [En línea]. Available: <https://lapalmadeaceite.wikispaces.com/file/view/Presentacion+Pudricion+de+Cogollo+Rol+de+Ca+Octubre+04+2011+.pdf>.
- [13] L. a. H. M. a. S. G. a. C. R. a. S. Fernandez, «Sensing climatic variables in a orchid greenhouse. Devices, Circuits and Systems (ICCDSC),» *IEEE*, pp. 101 - 104, 2017.

- [14] E. a. J. R. Freund, «Projective virtual reality: bridging the gap between virtual reality and robotics,» *IEEE*, vol. IEEE Robotics and Automation Society, pp. 411 - 422, JUNIO 1999.
- [15] T. Prabhakar, «A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks,» *IEEE*, pp. Date of Conference: 27-29 June 2005, 2005.
- [16] A. Boukerche, Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks, New Jersey, USA: WILEY, 2009.
- [17] A. B. d. Cunha, «Energy-efficient characterization of solar panel-supercapacitors systems for energy-harvesting aware wireless sensor nodes,» 15 ABRIL 2010. [En línea]. Available: Adriano B. da Cunha.
- [18] J. V. C. Hernández, Redes inalámbricas de sensores: , Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 2010.
- [19] TechTarget, «searchdatacenter,» 4 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://searchdatacenter.techtarget.com/definition/sensor-network>.
- [20] RF Wireless World, «WSN Wireless Sensor Network basics, WSN Architecture, WSN Security,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.rfwireless-world.com/Articles/WSN-Wireless-Sensor-Network.html>.
- [21] J. M. G. Hernández, «SISTEMA DE VISIÓN PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN: IDENTIFICACIÓN EN TIEMPO REAL DE LÍNEAS DE CULTIVO Y MALAS HIERBAS EN CAMPOS DE MAÍZ,» 2015. [En línea]. Available: <http://eprints.ucm.es/30145/1/T36062.pdf>.

- [22] E. Gil, «Situación actual y posibilidades de la agricultura de precisión,» de *XXIX Conferencia Internacional de Mecanización Agraria (CIMA 2001)*, 2001.
- [23] E. Gil, «SITUACIÓN ACTUAL Y POSIBILIDADES DE LA AGRICULTURA DE PRECISION,» n°
<http://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=94023/2010/1/53733/28038-3962.pdf>, 2010.
- [24] UNIMOOC, «Contexto donde surge Big Data,» 2016. [En línea]. Available: <https://docs.google.com/presentation/d/1uez7Aeb7E5nYRrGu4QEyD1D7m4feHC3GSjMUECyJkoQ/view#slide=id.p28>.
- [25] UNIMOOC, «Definición de Big Data,» 2016. [En línea]. Available: <https://unimooc.com/materiales-cursos/big-data/M1/M%C3%A1s%20contenidos%20L2.pdf>.
- [26] IBM, 2016. [En línea]. Available: <https://www-01.ibm.com/software/co/data/bigdata/index.html>.
- [27] TRC, «Conceptos de Big Data,» 2015. [En línea]. Available: http://www.trc.es/pdf/descargas/big_data.pdf.
- [28] J. Faber, «BIG DATA: NATURALEZA DE LAS FUENTES DE DATOS BIG DATA,» 2015. [En línea]. Available: <https://johnfaberblog.wordpress.com/2016/07/27/naturaleza-de-las-fuentes-de-datos-big-data/>.

- [29] UNIMOOC, «Arquitecturas Big Data,» 2017. [En línea]. Available: <https://learn.unimooc.com/student/courses/course/module?course=big-data&module=big-data-m05>.
- [30] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, «Resolucion 2544 del 2009,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-3770.html>.
- [31] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, «Resolucion 2190 de 2003,» 30 julio 2003. [En línea]. Available: <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-6604.html>.
- [32] Ministerio de Comunicaciones , «Resolución 1689,» 8 Junio 2007. [En línea]. Available: http://www.ane.gov.co/images/ArchivosDescargables/Normatividad/Planeacion_del_espectro/Resoluci%C3%B3n%201689%202007%20Mintic.pdf.
- [33] Artofcircuits, «TP4056-1A,» 2017. [En línea]. Available: <http://artofcircuits.com/product/tp4056-1a-micro-usb-li-ion-battery-charger-module-with-protection>.