



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo en tiempo real de deslizamientos de tierra usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de Internet de las Cosas

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTORES: Mendieta Cabrera, Gabriela Victoria

Valarezo León, Darío Javier

DIRECTOR: Ing. Quiñones Cuenca, Manuel Fernando, Mgtr.

LOJA – ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Mgtr.

Manuel Fernando Quiñones Cuenca

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo en tiempo real de deslizamientos de tierra usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de Internet de las Cosas” realizado por Mendieta Cabrera Gabriela Victoria y Valarezo León Darío Javier, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, febrero de 2018

f.).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros Mendieta Cabrera Gabriela Victoria y Valarezo León Darío Javier declaramos ser autores del presente trabajo de titulación: “Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo en tiempo real de deslizamientos de tierra usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de Internet de las Cosas”, de la Titulación de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, siendo Manuel Fernando Quiñones Cuenca director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.).....

Autora: Mendieta Cabrera Gabriela Victoria

Cédula: 1726359753

f.).....

Autor: Valarezo León Darío Javier

Cédula: 1104737679

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen María.

A mis amados padres y hermanos.

Gabriela Victoria Mendieta Cabrera

A Laura María, Héctor Ángel †, Luz América † y Lika María.

Darío Javier Valarezo León

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle primero a *Dios* por haberme guiado y cuidado a lo largo de mi vida, por haber sido mi fortaleza y por darme un hogar que me supo brindar una vida llena de aprendizajes, momentos únicos y de fe.

A mis padres les estaré agradecida siempre por haberme apoyado incondicionalmente, soy lo que soy gracias a su esfuerzo y sacrificio. Gracias por enseñarme a valorar cada cosa y momento en mi vida. A mis hermanos por ser mis eternos compañeros, por hacerme la vida más bonita y por ser en su forma, tan distinta, una de las mejores cosas que tengo en mi vida. Los amo.

A mi familia de quienes siempre me sentiré muy orgullosa.

Gabriela Victoria Mendieta Cabrera

Agradezco sinceramente a mi madre Laura María, por su apoyo incondicional en todos los retos que me he propuesto a lo largo de mi vida. A mis abuelos maternos, consejeros y amigos. A mi familia.

Darío Javier Valarezo León

COLABORACIÓN

En el desarrollo, implementación y pruebas del sistema propuesto, se valida la información mediante el apoyo de Ingenieros y Estudiantes del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil de la UTP. Agradecemos la colaboración de: Mgtr. Belizario Amador Zárate Torres, Mgtr. John Egverto Soto Luzuriaga, Srta. Verónica Quiñonez y Srta. Krupskaya Campoverde.

Agradecemos también al Mgtr. Manuel Fernando Quiñones Cuenca y al Mgtr. Marco Vinicio Morocho Yaguana quienes nos brindaron su conocimiento, apoyo y amistad a lo largo de nuestra formación académica.

TERMINOLOGÍA

ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
ADC	Analog to Digital Converter
AES	Advanced Encryption Standard
API	Application Programming Interface
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
ARM	Acorn RISC Machine
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AWG	American Wire Gauge
CNT E.P.	Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública
CPU	Central Processing Unit
CSV	Comma Separated Values
DC	Direct Current
DCS	Distributed Control System
DGPS	Differential Global Position System
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
EGSM	Extended Global System for Mobile Communication
ERB	Emlid Reach Binary
FDR	Frequency Domaine Reflectometry
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPIO	General Purpose Input/Output
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Position System
GSM	Global System for Mobile Communication
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
I2C	Inter-Integrated Circuit
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
IPXX	International Protection XX
ISM	Industrial Scientific and Medical
JSON	JavaScript Object Notation
JSONP	JavaScript Object Notation with Padding
LiPo	Lithium Polymer
LNA	Low-Noise Amplifier

LoRa	Long Range
M2M	Machine-to-Machine
MCX	Micro Coaxial Connector
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NMEA	National Marine Electronics Association
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OTF	On-The-Fly
P2M	Point to Multipoint
P2P	Peer to Peer
PAN	Private Area Network
ppm	partes por millón
PPP	Point to Point
RAM	Random Access Memory
REDCEDIA	Red Nacional de Investigación y Educación del Ecuador
RINEX	Receiver Independent Exchange
RJXX	Registered Jack XX
RPSMA	Reverse Polarity Subminiature version A
RTC	Real Time Clock
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	Real Time Kinematic
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SGR	Secretaría de Gestión de Riesgos
SIM	Subscriber Identity Module
SMA	Subminiature version A
SMD	Surface Mounted Device
SMS	Short Message Service
SRAM	Static Random Access Memory
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDR	Time Domain Reflectometry
UART	Universal asynchronous Receiver-Transmitter
URL	Uniform Resource Locator
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultraviolet Rays
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WSN	Wireless Sensor Network
WSNs	Wireless Sensor Networks

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
COLABORACIÓN.....	vi
TERMINOLOGÍA	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	5
ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.1. Problemática.....	6
1.2. Justificación.....	6
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivos generales.....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Delimitación del proyecto.....	7
1.5. Metodología.....	7
CAPÍTULO II.....	9
ESTADO DEL ARTE.....	9
2.1. Introducción.....	10
2.2. Investigaciones relacionadas.....	10
2.3. Movimientos de masa.....	11
2.3.1. Afectaciones en el Ecuador por movimientos de masa.....	11
2.3.2. Afectaciones en la Provincia de Loja por movimientos de masa.....	11

2.3.3.	Partes de movimientos de masa.....	12
2.3.4.	Métodos de medición de movimientos de masa en el cantón Loja.....	14
2.3.5.	Variables ambientales involucradas en los deslizamientos de tierra.	15
2.3.5.1.	Humedad del suelo.....	15
2.3.5.2.	Precipitación pluvial.....	16
2.3.5.3.	Posicionamiento mediante DGPS.....	17
2.3.5.4.	Técnica RTK.....	18
2.3.6.	Estado actual de la zona de emplazamiento.....	18
2.4.	Redes de Sensores Inalámbricos.	22
2.4.1.	Arquitectura de una WSN.	22
2.4.1.1.	Nodo.....	22
2.4.1.2.	Gateway.....	23
2.4.1.3.	Estación base.....	23
2.4.2.	Tecnologías de comunicación en una WSN.	23
2.5.	Plataformas Hardware <i>Open Source</i>	24
2.5.1.	Raspberry Pi.....	24
2.5.2.	Mbili.....	25
2.5.3.	PowerBoost.....	26
2.6.	Plataformas de IoT.	27
2.6.1.	Ubidots.	27
2.6.2.	ThingSpeak - MathWorks.	27
2.6.3.	Phant - SparkFun.	28
2.6.4.	Portal de Estaciones Meteorológicas de la UTPL.	28
2.6.5.	Comparación entre plataformas IoT.....	28
2.6.6.	Protocolos de comunicación con las plataformas IoT.	28
2.6.6.1.	HTTP.....	29
2.6.6.2.	HTTP URL Encode.....	29
2.6.6.3.	MQTT.....	30
2.7.	Estaciones de monitoreo comerciales.....	30

CAPÍTULO III.....	32
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	32
3.1. Introducción.....	33
3.2. Análisis de requerimientos.....	33
3.3. Diseño conceptual de la WSN.....	33
3.3.1. Tecnologías inalámbricas de comunicación de la WSN.....	35
3.3.1.1. Comunicación entre el gateway y los nodos.....	35
3.3.1.2. Comunicación entre el gateway y la plataforma IoT.....	36
3.4. Diseño de cada elemento de la WSN.....	36
3.4.1. Características del <i>gateway</i>	36
3.4.2. Características del nodo.....	37
3.4.3. Especificación de sensores.....	38
3.4.3.1. Sensor de humedad.....	38
3.4.3.2. Sensor de precipitación pluvial.....	41
3.4.3.3. Equipo GPS.....	42
3.4.4. Módulos de comunicación.....	43
3.4.4.1. Módulo de comunicación de la WSN con la plataforma IoT.....	43
3.4.4.2. Módulos de comunicación entre los elementos que conforman la WSN.....	45
3.4.5. Acondicionamiento de los sensores.....	45
3.4.6. Algoritmo de funcionamiento.....	48
3.4.6.1. Diagrama de flujo del gateway.....	48
3.4.6.2. Diagrama de flujo del nodo.....	50
3.4.6.3. Diagrama de flujo de las funciones específicas.....	51
CAPÍTULO IV	53
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	53
4.1. Introducción.....	54
4.2. Integración de los elementos de la WSN.....	54
4.2.1. Integración del <i>Gateway</i>	54
4.2.2. Integración del Nodo.....	56

4.3.	Consumo energético.....	56
4.3.1.	Nivel de consumo de corriente del <i>Gateway</i>	56
4.3.2.	Nivel de consumo de corriente del Nodo.	57
4.4.	Pruebas de validación del prototipo.	62
4.5.	Envío de información a la plataforma IoT.....	65
4.6.	Implementación en el área de estudio.	67
4.6.1.	Adecuación de la zona de emplazamiento.....	67
4.6.2.	Instalación del sistema.	72
4.6.2.1.	Instalación del Gateway.....	72
4.6.2.2.	Instalación del Nodo.	75
4.7.	Pruebas de funcionamiento del prototipo.....	78
CAPÍTULO V		82
RESULTADOS Y ANÁLISIS		82
5.1.	Introducción.....	83
5.2.	Resultados de la información medida.	83
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES.....		94
BIBLIOGRAFÍA.....		95
ANEXOS.....		102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.5.1. Metodología utilizada en el Trabajo de Titulación.....	8
Figura 2.3.1. Mapa de amenaza de movimientos de masa en el cantón Loja.	13
Figura 2.3.2. Partes de un deslizamiento de tierra.	14
Figura 2.3.3. Distintos movimientos de laderas, según grado de humedad y velocidad.	16
Figura 2.3.4. Sensor tipo electrodo, tensiómetro, sonda FDR y equipo TDR.	17
Figura 2.3.5. Pluviómetro de balancín, pluviómetro de báscula.	17
Figura 2.3.6. Ubicación de la zona de emplazamiento.	18
Figura 2.3.7. Vista principal de la zona de emplazamiento, vía de integración barrial.	19
Figura 2.3.8. Vista lateral izquierda, construcción destruida por el desplazamiento del terreno.	19
Figura 2.3.9. Vista lateral derecha, construcción destruida por el desplazamiento del terreno.	20
Figura 2.3.10. Vista posterior, construcción destruida por el desplazamiento del terreno. ...	20
Figura 2.3.11. Extensión parcial de la zona de deslizamiento.	21
Figura 2.3.12. Irregularidades presentes en el terreno.....	21
Figura 2.3.13. Efecto del deslizamiento sobre la vía de integración barrial.	22
Figura 2.5.1. Tarjeta Raspberry Pi modelo B V1.1.	24
Figura 2.5.2. Tarjeta Mbili.	25
Figura 2.5.3. PowerBoost 1A.	27
Figura 2.7.1. Estaciones de monitoreo comerciales: (a) Estación Wireless Vantage Pro2 with Standard Radiation Shield, (b) Estación Complete Wireless Leaf & Soil Moisture Temperature, (c) Estación 900M Watermark Monitor y (d) Nodo Smart Agriculture.	30
Figura 3.3.1. Arquitectura del sistema WSN propuesto.....	34
Figura 3.3.2. Esquema del sistema WSN propuesto.....	34
Figura 3.3.3. Esquema de comunicación del sistema WSN propuesto.	35
Figura 3.3.4. Formato de la trama de envío desde el nodo al <i>gateway</i>	36
Figura 3.3.5. Sintaxis para el envío de la información del <i>gateway</i> hacia la plataforma IoT.	36
Figura 3.3.6. Sintaxis para el envío de la información del nodo hacia la plataforma IoT.....	36
Figura 3.4.1. Diagrama de la arquitectura del <i>gateway</i>	37
Figura 3.4.2. Sintaxis para el almacenamiento en la MicroSD card del <i>gateway</i>	37
Figura 3.4.3. Sintaxis para el almacenamiento en la MicroSD card del nodo.	37
Figura 3.4.4. Diagrama de la arquitectura del nodo.	38
Figura 3.4.5. Watermark 200SS.....	40
Figura 3.4.6. AeroCone Rain Collector #6465.....	41
Figura 3.4.7. Módulo <i>Reach RTK GNSS</i>	42

Figura 3.4.8. Módulo GPRSbee.	44
Figura 3.4.9. Módulo XBee-PRO 900.....	45
Figura 3.4.10. Diagrama esquemático de la tarjeta diseñada.....	47
Figura 3.4.11. Pista de la tarjeta diseñada.	47
Figura 3.4.12. Descripción de cada elemento de la tarjeta diseñada.	48
Figura 3.4.13. Diagrama de flujo del gateway.	49
Figura 3.4.14. Diagrama de flujo del nodo.	50
Figura 4.2.1. Integración del <i>gateway</i>	54
Figura 4.2.2. Integración del <i>gateway</i> , vista interna.	55
Figura 4.2.3. Integración del nodo.....	55
Figura 4.2.4. Integración del nodo, vista interna.....	56
Figura 4.3.1. Nivel de consumo de corriente de la tarjeta Mbili, guardar la información en la plataforma mediante GPRS.	57
Figura 4.3.2. Nivel de consumo de corriente de la tarjeta Mbili, adquisición de las variables.	57
Figura 4.3.3. Nivel de consumo de corriente del nodo en la adquisición y transmisión de la información.	59
Figura 4.3.4. Nivel de consumo de corriente del nodo cuando se realiza la correlación del GPS y adquisición de datos.	59
Figura 4.4.1. Insolación difusa promedio anual en el Ecuador.	63
Figura 4.4.2. Colocación del <i>gateway</i> en el Punto 6.....	64
Figura 4.4.3. Colocación del nodo en el Punto 5.....	64
Figura 4.5.1. Visualización del canal del <i>gateway</i>	66
Figura 4.5.2. Visualización del canal del nodo.	67
Figura 4.6.1. Estructura instalada para el <i>gateway</i> , vista desde la vía de integración barrial.	68
Figura 4.6.2. Instalación de la estructura para el <i>gateway</i> en la losa de una casa ubicada frente al terreno afectado, vista frontal.....	68
Figura 4.6.3. Instalación de una estructura para el <i>gateway</i> en la losa de una casa ubicada frente al terreno afectado, vista posterior.	69
Figura 4.6.4. Excavación de un hoyo de 1.20m de profundidad para la instalación de la estructura para el nodo.	69
Figura 4.6.5. Acoplamiento de una varilla en paralelo a la estructura del nodo para la medición del punto de georreferenciación.....	70
Figura 4.6.6. Adecuación de la base de hormigón armado para sujetar la estructura del nodo.	70
Figura 4.6.7. Fundición de la estructura con hormigón armado.....	71

Figura 4.6.8. Estructura para el nodo adecuada en el punto del terreno correspondiente. ...	71
Figura 4.6.9. <i>Gateway</i> instalado, vista frontal.	72
Figura 4.6.10. <i>Gateway</i> instalado, vista posterior.....	73
Figura 4.6.11. Estimación de las coordenadas de la estación base con un período de 15 minutos.....	73
Figura 4.6.12. Obtención de las coordenadas de la estación base.	74
Figura 4.6.13. Establecimiento de las coordenadas de forma permanente.	74
Figura 4.6.14. Acoplamiento del sensor de humedad a un tubo galvanizado como guía de protección para el cable.....	75
Figura 4.6.15. Unión del sensor de humedad al tubo galvanizado mediante pegamento impermeable.....	75
Figura 4.6.16. Instalación de los sensores de humedad a 1m y 1.5m de profundidad respectivamente.	76
Figura 4.6.17. Sensores de humedad instalados a cada costado de la estructura del nodo.	76
Figura 4.6.18. Nodo instalado, vista frontal.	77
Figura 4.6.19. Nodo instalado, vista posterior.	77
Figura 4.7.1. Almacenamiento de la imagen capturada mediante el módulo de la cámara de Raspberry Pi.....	78
Figura 4.7.2. Imagen capturada de la zona de emplazamiento desde el <i>gateway</i>	79
Figura 4.7.3. Estado <i>fix</i> , correlación entre la estación base y el <i>rover</i>	79
Figura 4.7.4. Punto de georreferenciación obtenido mediante la correlación entre la base y el <i>rover</i>	80
Figura 4.7.5. Variables del <i>gateway</i> posteadas en la plataforma ThingSpeak.....	80
Figura 4.7.6. Variables posteadas del nodo en la plataforma ThingSpeak.	81
Figura 5.2.1. Archivos almacenados para su análisis posterior.....	83
Figura 5.2.2. Imágenes capturadas en el sector de emplazamiento desde el <i>gateway</i> , con hora y fecha establecida.	84
Figura 5.2.3. Precipitación pluvial instantánea.	85
Figura 5.2.4. Precipitación pluvial diaria.....	85
Figura 5.2.5. Estado del nivel de voltaje de la batería en el <i>gateway</i>	86
Figura 5.2.6. Humedad del punto de emplazamiento establecido a 1 m de profundidad en el nodo.	86
Figura 5.2.7. Humedad del punto de emplazamiento establecido a 1.5 m de profundidad en el nodo.....	87
Figura 5.2.8. Variación de la coordenada X en el <i>rover</i>	88
Figura 5.2.9. Variación de la coordenada Y en el <i>rover</i>	88
Figura 5.2.10. Variación de la coordenada Z en el <i>rover</i>	89

Figura 5.2.11. Estado del nivel de voltaje de la batería en el nodo.....	89
Figura 5.2.12. Estado del nivel de voltaje del panel solar en el nodo.	90
Figura 5.2.13. Diagrama de caja de la posición georreferenciada en X obtenida en el período de pruebas mediante el módulo <i>Reach RTK GNSS</i>	91
Figura 5.2.14. Diagrama de caja de la posición georreferenciada en Y obtenida en el período de pruebas mediante el módulo <i>Reach RTK GNSS</i>	92
Figura 5.2.15. Diagrama de caja de la posición georreferenciada en Z obtenida en el período de pruebas mediante el módulo <i>Reach RTK GNSS</i>	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.3.1. Afectación por época lluviosa en Ecuador.....	11
Tabla 2.3.2. Afectación por época lluviosa en la Provincia de Loja durante el período del 1 de enero al 2 de junio de 2017.....	12
Tabla 2.4.1. Tecnologías de comunicación para WSN.....	23
Tabla 2.5.1. Especificaciones técnicas de la tarjeta Raspberry Pi.....	25
Tabla 2.5.2. Especificaciones técnicas de la tarjeta Mbili.....	26
Tabla 2.5.3. Especificaciones técnicas del módulo PowerBoost.....	26
Tabla 2.6.1. Comparación de especificaciones entre plataformas IoT en versión gratuita. ..	29
Tabla 2.7.1. Comparación de especificaciones técnicas entre estaciones de monitoreo comerciales.....	31
Tabla 3.4.1. Comparación de especificaciones entre sensores de humedad.....	39
Tabla 3.4.2. Especificaciones técnicas del sensor de humedad Watermark 200SS.....	39
Tabla 3.4.3. Comparación de especificaciones entre sensores de precipitación pluvial.....	41
Tabla 3.4.4. Especificaciones técnicas del AeroCone Rain Collector #6465.....	42
Tabla 3.4.5. Especificaciones técnicas del Módulo <i>Reach RTK GNSS</i>	43
Tabla 3.4.6. Especificaciones técnicas de la Antena Tallysman TW4721 multi-GNSS para el módulo <i>Reach RTK GNSS</i>	44
Tabla 3.4.7. Especificaciones técnicas del módulo GPRSbee.....	44
Tabla 3.4.8. Especificaciones técnicas del módulo XBee-PRO 900.....	46
Tabla 3.4.9. Configuración de los módulos XBee-PRO 900.....	46
Tabla 3.4.10. Especificación de cada subrutina empleada en cada elemento.....	51
Tabla 4.3.1. Requerimiento de consumo energético del <i>gateway</i>	58
Tabla 4.3.2. Requerimiento de consumo energético para el nodo.....	58
Tabla 4.3.3. Características de la batería tipo LiPo.....	60
Tabla 4.3.4. Características del panel solar.....	62
Tabla 4.4.1. Ubicación del Punto 5.....	63
Tabla 4.4.2. Ubicación del Punto 6.....	63
Tabla 4.4.3. Ubicación medida en el Punto 5 con el módulo <i>Reach RTK GNSS</i>	65
Tabla 4.4.4. Diferencia entre la red topográfica de la UTPL y el valor medido con el módulo <i>Reach RTK GNSS</i> en el Punto 5.....	65
Tabla 5.2.1. Interpretación de la medición del sensor Watermark 200SS según la presión del agua en la tierra dado por el fabricante.....	87
Tabla 5.2.2. Ubicación del nodo medida con el equipo profesional Trimble R6.....	90
Tabla 5.2.3. Ubicación del nodo medida con el módulo <i>Reach RTK GNSS</i>	90

Tabla 5.2.4. Diferencia entre el valor medido con el Trimble R6 y el valor medido con el módulo <i>Reach RTK GNSS</i> en el nodo.....	91
---	----

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se detalla el diseño de un sistema WSN para el monitoreo remoto de deslizamientos de tierra en la hoya de la ciudad de Loja, Ecuador; los mismos que ocurren en terrenos en donde existe una mayor acumulación de humedad, considerándose otros factores intrínsecos y extrínsecos como la vegetación, topología y composición del terreno. Las variables ambientales analizadas en el presente trabajo son: humedad del suelo (método tensiométrico), precipitación pluvial y desplazamiento del suelo empleando dos módulos *Reach RTK GNSS*, uno como estación base y otro como *rover*, con precisión centimétrica mediante el uso de la técnica RTK. La WSN se ha implementado con una topología de red en estrella por medio de la tecnología XBee-PRO 900, con un *gateway* como elemento coordinador y un nodo como elemento adquisidor de datos; sin embargo, para el envío de la información a la plataforma IoT en la nube se usa la infraestructura de comunicaciones móviles mediante GPRS para el monitoreo remoto desde cualquier terminal.

PALABRAS CLAVES: WSN, Deslizamiento de Tierra, IoT, RTK, GNSS, GPS, GPRS.

ABSTRACT

In the present degree work was designed a remote monitoring *landslides* system for the basin of the Loja city, Ecuador, using a WSN; the same ones that occur in areas where there is a greater accumulation of moisture, considering other intrinsic and extrinsic factors such as vegetation, topology and composition of the land. The environmental variables analyzed in the present work are: soil moisture (tensometric method), rainfall and soil displacement using two *Reach RTK GNSS* modules, one as base station and another as rover, with centimeter precision through the use of the RTK technique. The WSN was designed with star network topology and implemented through XBee-PRO 900 technology, with a *gateway* as a coordinator element and a node as data acquisition element. However, for sending the information to the IoT platform in to the cloud, was used the mobile communications network through GPRS for remote monitoring from any terminal.

KEYWORDS: WSN, *Landslide*, IoT, RTK, GNSS, GPS, GPRS.

INTRODUCCIÓN

Los desastres naturales o eventos adversos afectan directamente a la calidad de vida de una sociedad; mientras se mejoren las condiciones en las ciudades y comunidades reduciéndose los efectos colaterales producidos, mayor será la calidad de vida de cada ciudadano; siendo ideal, que las autoridades y organismos de seguridad realicen un control, monitoreo y ejecuten acciones con información en tiempo real.

El Objetivo de Desarrollo Sostenible número 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles, planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), proyecta para el 2030 que todos los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Una de las metas, es disminuir la pérdida de vidas humanas a causa de los desastres naturales, así mismo se debe reducir las pérdidas económicas ocasionadas directamente por el cambio climático [1].

La Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR) encargada de presentar información veraz y ordenada de los eventos adversos que ocurren en Ecuador, ha identificado a la provincia de Loja como zona susceptible a movimientos de masa, amenazada por deslizamientos, hundimientos o socavamientos de tierra [2].

A partir de investigaciones realizadas y datos de la SGR sobre deslizamientos de tierra en la ciudad de Loja, se establecen los requerimientos, identificando las variables que generan los movimientos de masa. Con esta información, se analiza el estado del arte actual para seleccionar los elementos más factibles para el diseño del sistema propuesto.

En el Capítulo I: Alcance de la investigación; se analiza el efecto y las necesidades generadas por los desastres naturales a nivel nacional, haciendo énfasis en la ciudad de Loja, resaltando la importancia de ejecutar acciones para evitar la pérdida de vidas humanas. En base a esta problemática, se definen los objetivos, la delimitación y la metodología a emplearse en el proyecto.

En el Capítulo II: Estado del arte; se presentan las investigaciones más relevantes sobre prototipos implementados, estudios de movimientos de masa en la ciudad de Loja, métodos y estándares de medición. Finalmente, se revisan las tecnologías y soluciones más relevantes en el mercado para la implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) enfocadas a deslizamientos de tierra.

En el Capítulo III: Diseño y construcción; se detallan los requerimientos mínimos para el diseño e implementación del sistema propuesto, incluyendo los sensores y módulos a utilizarse. Además, se mencionan los protocolos de comunicación con las plataformas del Internet de las cosas (IoT). También, se describe el algoritmo lógico de funcionamiento: adquisición de datos a través de los sensores, comunicación entre la WSN y las plataformas IoT.

En el Capítulo IV: Implementación del sistema; se describe el proceso de implementación, instalación y calibración de cada elemento en la zona de emplazamiento establecida. Además, se determina el consumo energético de cada elemento del sistema propuesto.

Finalmente, en el Capítulo V: Resultados y análisis; se presentan las mediciones obtenidas de las diferentes variables establecidas y el margen de error entre las coordenadas georreferenciadas.

CAPÍTULO I
ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problemática.

Actualmente, existe un gran interés por parte de autoridades, organismos de seguridad, Instituciones de Educación Superior e investigadores en desarrollar sistemas de monitoreo y alerta temprana en tiempo real, a fin de prevenir los daños colaterales producidos por los desastres naturales o eventos adversos en lugares poblados en las distintas zonas de la República del Ecuador.

Los deslizamientos, hundimientos o socavamientos de tierra son un tipo de evento adverso cada vez más frecuentes, debido a la afluencia de fuertes precipitaciones pluviales en los últimos años, causando daños como: pérdidas de vidas humanas, colapso de infraestructuras, afecciones viales en varios tramos cantonales, pérdidas materiales y económicas.

El Ecuador debido a su posición geográfica está bajo diversas amenazas naturales: geológicas e hidrometeorológicas. La provincia de Loja ubicada al sur de la República del Ecuador, se encuentra en una de las regiones más irregulares del país según datos de diciembre de 2016 de la SGR; además, se encuentra dentro de la lista de las zonas con probabilidad de sufrir movimientos de masa. En el cantón Loja, categorizando el nivel de amenaza con el área de influencia, se registran zonas donde se puede producir deslizamientos de tierra identificando un 39,37% como alta y 8.72% como muy alta [2] [3]. Además, los deslizamientos de tierra en la ciudad de Loja se producen por su geomorfología, geología, pendientes, intensidad de precipitación pluvial, cobertura vegetal y las diferentes aplicaciones que se le da al suelo (condiciones intrínseca, hidrometeorológica y biológica) [4] [5].

1.2. Justificación.

Las técnicas actuales para el monitoreo de las zonas en donde los movimientos de masa son más frecuentes son manuales: movilizándolo personal y consumiendo una mayor cantidad de recursos; por lo que es necesario una automatización en el proceso de obtención de datos.

Se propone el diseño y construcción de un sistema para monitorear zonas donde ocurren deslizamientos de tierra, mediante el despliegue de una WSN y empleo de una plataforma interactiva IoT en tiempo real, enfocando las *Smart Cities* y orientando su aplicabilidad a prevención de eventos adversos.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivos generales.

- Diseñar e implementar un sistema para el monitoreo en tiempo real de deslizamientos de tierra en la hoya de la ciudad de Loja, Ecuador; usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de Internet de las Cosas.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Realizar una revisión del estado del arte sobre proyectos similares, técnicas de medición, tecnologías, protocolos de comunicación y plataformas de IoT.
- Desarrollar una arquitectura del sistema y determinar sus componentes hardware y software.
- Integrar los componentes hardware y software para la realización del sistema de monitoreo en tiempo real.
- Implementar un sistema de abastecimiento de energía utilizando paneles solares.
- Realizar pruebas del sistema y envío de datos a plataformas IoT en la hoya de la ciudad de Loja, Ecuador.
- Analizar los resultados obtenidos del sistema y determinar su desempeño.

1.4. Delimitación del proyecto.

El sistema diseñado para el monitoreo de deslizamiento de tierra se ubica en la vía de integración barrial Ángel Felicísimo Rojas al margen de la hoya de la ciudad de Loja. La WSN desarrollada está conformada por un *gateway* y un nodo; el *gateway* permite la correlación del posicionamiento Sistema de Global Posicionamiento (GPS) mediante la técnica *Real Time Kinematic* (RTK), la medición de la precipitación pluvial, el envío de datos en tiempo real a una plataforma IoT y la captura de una fotografía diaria de la zona. Mientras que cada nodo permite el monitoreo de la humedad del suelo a diferentes niveles y posicionamiento mediante un punto georreferenciado.

1.5. Metodología.

Para la culminación del presente Trabajo de Titulación se ha seguido una metodología por fases (véase Figura 1.5.1) detalladas a continuación.

La primera fase revisa el estado del arte actual de investigaciones sobre prototipos para deslizamientos de tierra ya implementados, estudios de movimientos de masa realizados en la ciudad de Loja; identificando las principales variables y métodos utilizados para la detección de este fenómeno.

La segunda fase detalla los requisitos mínimos para el diseño y construcción del sistema propuesto, identificando todos los elementos a utilizarse; la adecuación del hardware para la adquisición de datos mediante los sensores y los algoritmos lógicos de funcionamiento. Además, comprende las pruebas realizadas en laboratorio necesarias para la corrección de errores mediante una retroalimentación de funcionamiento del prototipo construido.

La tercera fase abarca el proceso de implementación del sistema en la zona de emplazamiento, instalación, calibración del *gateway* y del nodo.

Finalmente, la cuarta fase relaciona el análisis de la información obtenida de cada variable con los acontecimientos ocurridos, generando los resultados finales para el pronóstico y toma de decisiones frente a los movimientos de masa.

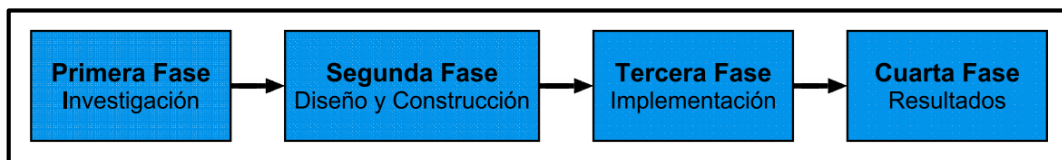


Figura 1.5.1. Metodología utilizada en el Trabajo de Titulación.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

CAPÍTULO II
ESTADO DEL ARTE

2.1. Introducción.

En el presente capítulo se aborda el estado del arte actual, proyectos similares ya implementados, investigaciones relacionadas con deslizamientos de tierra en la ciudad de Loja, cifras de afectaciones producidas en el país y en la ciudad de Loja. También, se detallan las partes y métodos empleados para la medición de movimientos de masa, así también, las principales variables que influyen en los deslizamientos de tierra. Además, se describe el estado actual de la zona de emplazamiento; de igual forma, se presenta mediante diferentes cuadros comparativos las tecnologías más utilizadas en WSN, plataformas de IoT y estaciones de monitoreo comerciales.

2.2. Investigaciones relacionadas.

Analizando las capacidades preventivas de una WSN frente a los deslizamientos de tierra, en [6] la autora expone el despliegue de sensores escalables para la detección de deslizamientos de tierra, mediante el análisis de variables como: precipitación de lluvia, velocidad y dirección del viento; considerando también las propiedades geológicas, hidrológicas, movimiento, presión y humedad del suelo en el entorno. Además, se ha diseñado un sistema de prevención de varios niveles en tiempo real, donde factores como: tiempo de procesamiento, latencia de transmisión, consumo energético y mantenimiento deben ser mínimos.

Considerando los deslizamientos de masa como uno de los fenómenos naturales más destructivos, no solo por sus pérdidas económicas sino por la pérdida de vidas humanas, en [7] los autores han desarrollado la estructura de un sistema de monitoreo mediante WSN en tiempo real con diferentes sensores dedicados a las propiedades del suelo. Se ha diseñado un WSN basado en 3 capas jerárquicas: medición-comunicación, análisis de datos e interfaz. Al contrario, en [8] se desarrolla un sistema de detección de deslizamientos de tierra eficiente y de bajo costo mediante la utilización de un algoritmo de predicción y estimación. Se utiliza el sistema de red móvil desplegada y como sensor un pluviómetro para medir la precipitación de lluvia.

En [9] se plantea la idea de que los deslizamientos de tierra pueden monitorearse de cerca desplegando una variedad de sensores, obteniendo cualidades en bajo costo, respuesta rápida, escalabilidad y flexibilidad. Por lo que propone un despliegue distribuido dinámicamente de WSN clasificados por su nivel de obtención de datos fiables, manejo de datos heterogéneos y mínimo consumo de energía. Obteniéndose resultados enfocados en la optimización de recursos energéticos en los nodos desplegados. A diferencia, en [10] se crea un prototipo de detección de deslizamientos a escala, el cual tiene como fin generar

alertas tempranas. Dicho prototipo basado en WSN está compuesto de un *gateway* y un servidor; una parte del nodo se encarga de medir el nivel de inclinación y aceleración de una determinada zona de riesgo y otro es encargado de establecer la comunicación mediante *Bluetooth*. Para su verificación, realizaron pruebas de laboratorio, concluyéndose que los nodos establecidos en la zona de simulación detectan el movimiento del suelo cuando la pendiente empieza a moverse, generando alertas tempranas que ayuden a minimizar los impactos contraproducentes en la zona de riesgo.

2.3. Movimientos de masa.

Un movimiento de masa, deslizamiento de tierra o *landslide* en Inglés, puede considerarse como un tipo de desencadenamiento de tierra, cuando un terreno estable se convierte en inestable debido al alto nivel de humedad acumulada en el mismo, generándose así un desastre natural que puede crear diferentes situaciones de riesgo [11] [12].

2.3.1. Afectaciones en el Ecuador por movimientos de masa.

La SGR publica mensualmente un informe de la situación de época lluviosa en Ecuador [13], en el cual se detalla las principales cifras de afectación durante los últimos 30 días referente al mes de junio de 2017 y durante el período del 1 de enero al 2 de junio de 2017 a nivel nacional (véase Tabla 2.3.1).

Tabla 2.3.1. Afectación por época lluviosa en Ecuador.

Afectaciones	Durante los últimos 30 días de mes de junio de 2017	Durante el período del 1 de enero al 2 de junio de 2017
Personas fallecidas	2	41
Familias afectadas	1418	39601
Familias damnificadas	32	545
Familias albergadas	7	170
Viviendas destruidas	25	270
Viviendas afectadas	1292	35917

Fuente: Véase [13].

Elaboración: Los Autores.

2.3.2. Afectaciones en la Provincia de Loja por movimientos de masa.

La SGR considera a la provincia de Loja dentro de las zonas con probabilidades entre el 60% y 100% de generación de lluvias, incrementando la posibilidad de producirse movimientos de masa. El Municipio de Loja en [3], ha identificado las zonas amenazadas por deslizamientos de tierra (véase Figura 2.3.1). En el informe mensual elaborado por la

SGR [13], se presenta también las cifras de afectación por época lluviosa por cada provincia del país; en el caso de la provincia de Loja se enlistan las principales cifras de afectación en cuanto a personas, infraestructura y agropecuaria (véase Tabla 2.3.2).

Tabla 2.3.2. Afectación por época lluviosa en la Provincia de Loja durante el período del 1 de enero al 2 de junio de 2017.

Afectaciones	Cifras
Personas Fallecidas	0
Heridos	1
Desaparecidos	0
Personas afectadas	6382
Familias damnificadas	57
Personas damnificadas	243
Personas evacuadas	107
Personas albergadas	51
Viviendas afectadas	1534
Viviendas destruidas	24
Infraestructura	3375
Afectación agropecuaria	321,77

Fuente: Véase [13].
Elaboración: Los Autores.

2.3.3. Partes de movimientos de masa.

Un movimiento de masa está conformado por diferentes partes o elementos (véase Figura 2.3.2). La cabeza es el lugar donde empieza el cambio brusco de inclinación, es el inicio del deslizamiento de tierra; en donde la cima es el punto más alto de la cabeza y el escarpe principal es el área inclinada dentro de la superficie en movimiento, ubicándose la corona en la parte más elevada del mismo a lo alto de la cabeza. Los escarpes secundarios son áreas inclinadas generadas por el movimiento diferencial del deslizamiento de tierra. Los costados son los perfiles laterales, considerándose el izquierdo y el derecho. La superficie de falla delimita el material que se desplaza, por debajo de la misma no se genera ningún movimiento. El pie de falla es la intercepción entre la parte inferior de la superficie de falla y el área original del terreno. La base es la superficie cubierta por el material desplazado por debajo del pie de la falla. Finalmente, la punta es la ubicación de la base más lejana de la cima o corona, es el final del movimiento de masa [14].

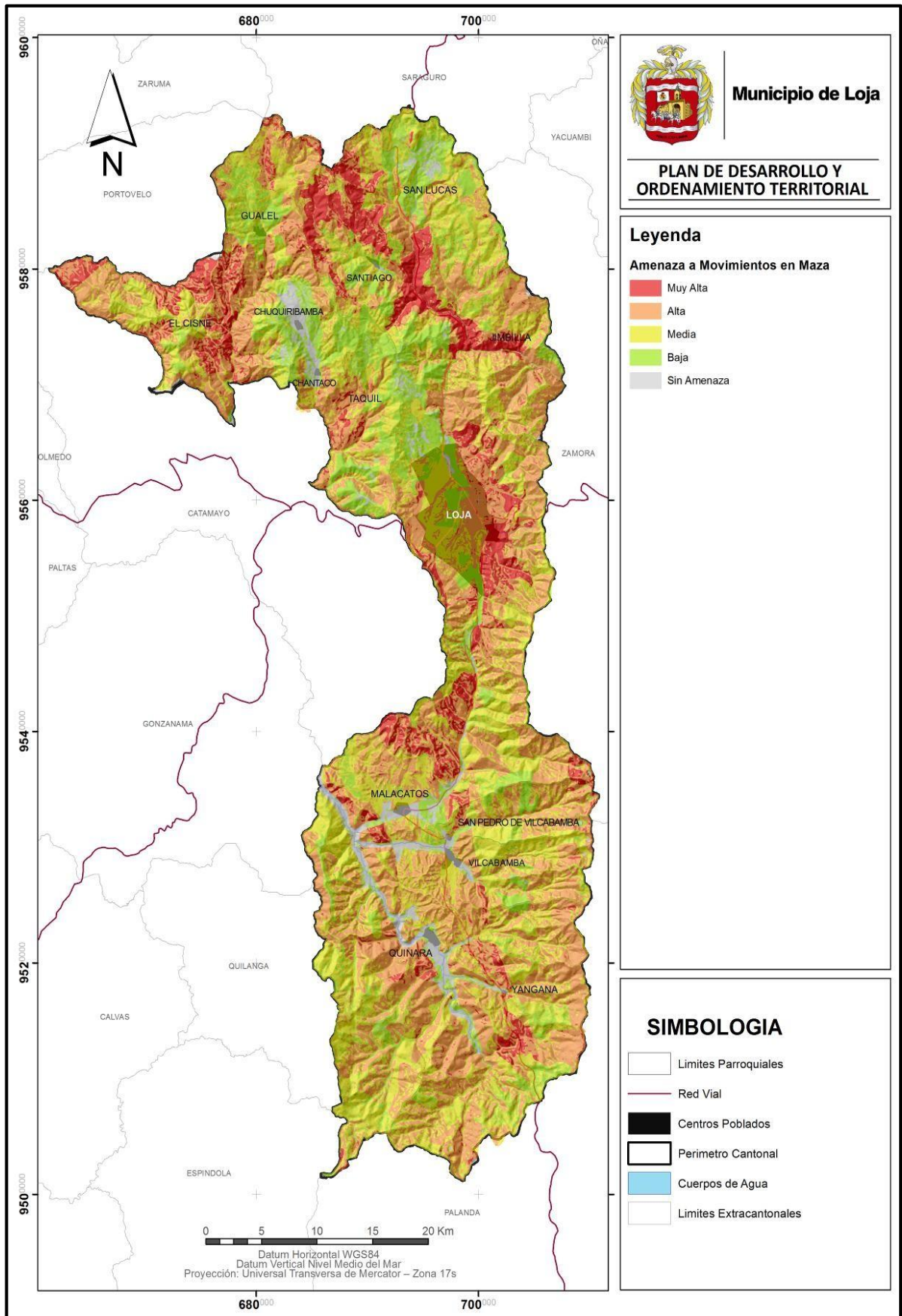


Figura 2.3.1. Mapa de amenaza de movimientos de masa en el cantón Loja.
Fuente: Véase [3].
Elaboración: Véase [3].

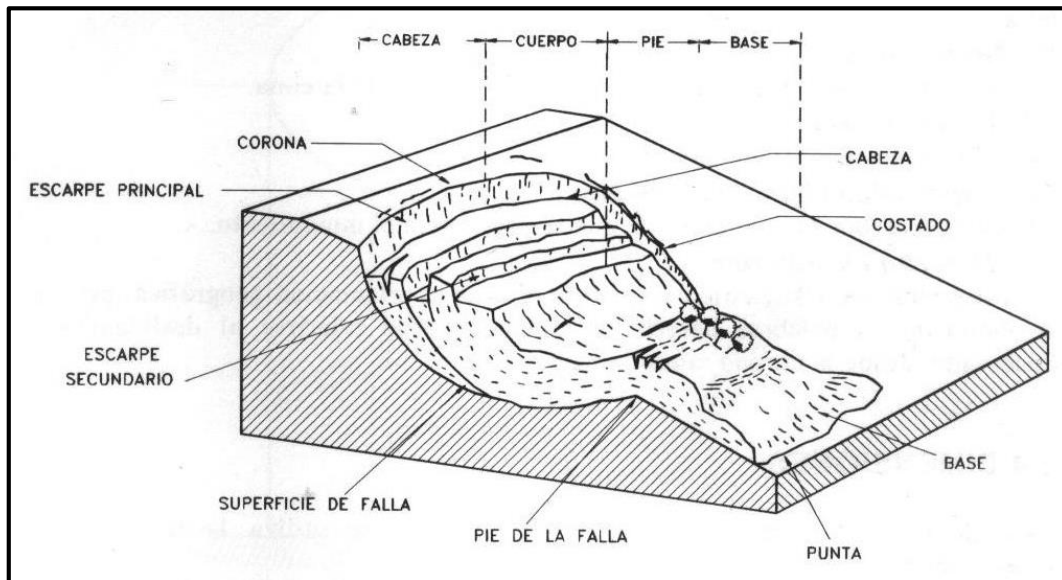


Figura 2.3.2. Partes de un deslizamiento de tierra.

Fuente: Véase [15].

Elaboración: Véase [15].

2.3.4. Métodos de medición de movimientos de masa en el cantón Loja.

En este apartado se describen tres métodos empleados en la medición de movimientos de masa aplicados en el desarrollo de varias tesis de pregrado y postgrado en la ciudad de Loja.

En [14], se determina la variación espacio temporal de la humedad del suelo y su efecto en la ocurrencia de los deslizamientos de ladera en el Sector Sur Occidente de la ciudad de Loja. El método empleado en este caso es la generación de modelos digitales y mapas de variación de humedad del sitio, mediante técnicas geoestadísticas y toma de muestras para posterior análisis en laboratorio, para observar y examinar las características determinantes de la variación de humedad generada en la zona. Dando como resultado la clasificación total del suelo, en este caso presidida por suelos arcillosos y limos a diferentes profundidades. No se consideran todos los factores que podrían estar ocasionando estos movimientos. Concluyéndose que la humedad alta en el suelo junto con precipitaciones constantes pueden pronosticar que un movimiento de masa pueda suscitarse.

Identificar y evaluar fenómenos mediante la aplicación del método heurístico, en combinación con los métodos de suma de rangos y el del valor esperado, considerando valores condicionantes y desencadenantes de deslizamientos, ello según su condición: intrínseca, hidrometeorológica y biológica, es el proceso empleado por [4] [5]. En donde, mediante el análisis de cartografía, evaluación multicriterio y su representación mediante un flujograma, se incluyen variables específicas que componen una cierta condición,

resultándose cinco clases de peligro en un movimiento de masa: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto. Se obtiene que el nivel de efectividad del método se basa en comparar el resultado obtenido con el inventario de deslizamientos registrado por el Municipio de Loja, mediante la fotointerpretación generando un índice de error aceptable pero no suficiente.

En [16] los autores realizan un estudio multi-método en 4 diferentes zonas en la ciudad de Loja, mediante el levantamiento de una red de monitoreo de un Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS). Dicha red consta de 26 puntos de georreferenciación, mediante el levantamiento de cuatro campañas GPS en cada una de las zonas de deslizamientos de tierra: La Florida, El Plateado, Chontacruz y San Cayetano. Un receptor fijo se coloca en una estación maestra (punto 1 GPS), mientras que varios receptores móviles fueron instalados en los puntos restantes para recoger los datos (25 puntos en 4 zonas). Como resultado se concluyó que estos deslizamientos de tierra se mueven a velocidades promedio entre 6.8, 4.6, 3.4 y 0.2 m/año respectivamente. También menciona que la pronta inclusión de tecnología GPS permitirá disminuir notablemente los daños provocados por los deslizamientos de tierra en zonas habitadas.

Todos los estudios realizados poseen un punto de análisis distinto, ninguno de ellos utilizó un proceso de medición automatizado, ya que en su mayor parte se emplearon procesos manuales.

2.3.5. Variables ambientales involucradas en los deslizamientos de tierra.

Se detallan las variables ambientales, parámetros y sus técnicas de medición para determinar los deslizamientos de tierra.

2.3.5.1. Humedad del suelo.

La humedad del suelo define la caracterización del terreno, incluyendo otros factores intrínsecos e extrínsecos que infieren en la inestabilidad del terreno como: composición, vegetación y topografía. Si el suelo por sus propiedades es capaz de mantener y almacenar una mayor cantidad de agua, mayor será la probabilidad de producirse un movimiento de masa. [14].

Según el grado de humedad presente en el suelo y la velocidad del movimiento del material, se pueden presentar diferentes deslizamientos de tierra (véase Figura 2.3.3).

El método básico empleado para la medición de deslizamientos de tierra es el manual, en donde mediante el uso de instrumentos de laboratorio se extraen muestras del suelo en

puntos específicos; se analizan estas muestras y se determina así el nivel de humedad del mismo. El uso de sensores de humedad como: electrodos, tensiómetros, equipos TDR y sondas FDR (véase Figura 2.3.4), cada vez son más frecuentes; por ejemplo la humedad del suelo puede monitorearse mediante la instalación de sensores (tipo electrodo) que miden la constante dieléctrica del suelo, ello definiendo que los materiales que componen el suelo poseen una constante dieléctrica de 2 a 4, mientras que el agua da valores de hasta 78; como consecuencia al medir dicha constante se puede conocer el contenido de agua del suelo y así su nivel de humedad [17] [18].

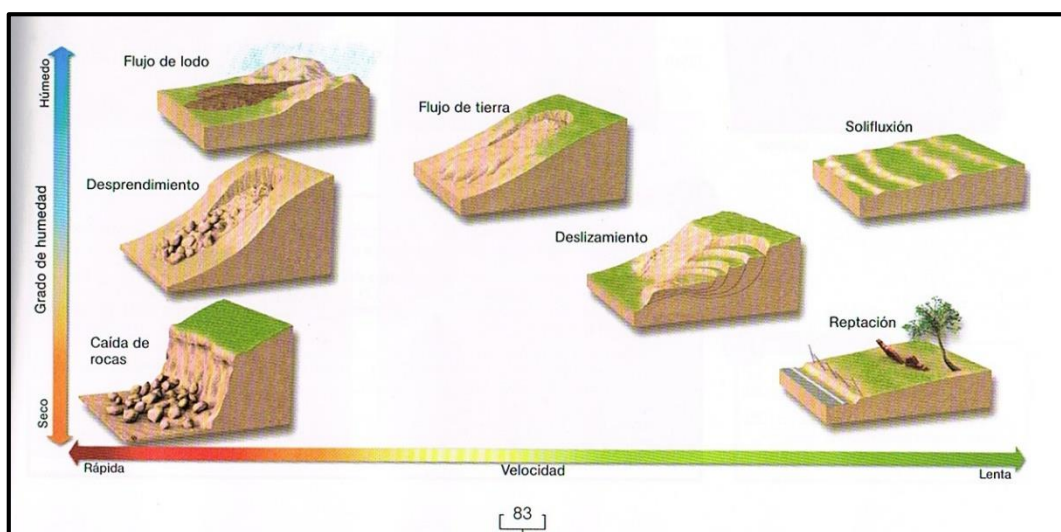


Figura 2.3.3. Distintos movimientos de laderas, según grado de humedad y velocidad.
 Fuente: Véase [19].
 Elaboración: Véase [19].

2.3.5.2. *Precipitación pluvial.*

La precipitación pluvial dependiendo de su intensidad, período y duración, es uno de los principales factores asociados a los deslizamientos de tierra. Al incrementarse el agua lluvia con el agua contenida en el suelo, se incrementa el peso de los materiales lubricándose la superficie de despegue. La presencia de vegetación amortigua el efecto de erosión producido por la lluvia, al contrario de un terreno sin vegetación bajo la presencia de lluvias torrenciales se genera una mayor erosión y desplazamiento del suelo. [19].

La cantidad de lluvia se puede medir mediante la utilización de un pluviómetro (véase Figura 2.3.5), el cual está constituido por un embudo el cual filtra el agua en una especie de balancín generando interrupciones magnéticas, midiéndose la cantidad de lluvia en un intervalo de tiempo determinado expresándola en milímetros o en su equivalente litros por metro cuadrado. El pluviómetro es el instrumento más empleado debido a su nivel de precisión, existe también otro conocido como pluviómetro de báscula el cual registra la frecuencia de llenado de sus recipientes y lo expresa en intensidad de precipitación [20].

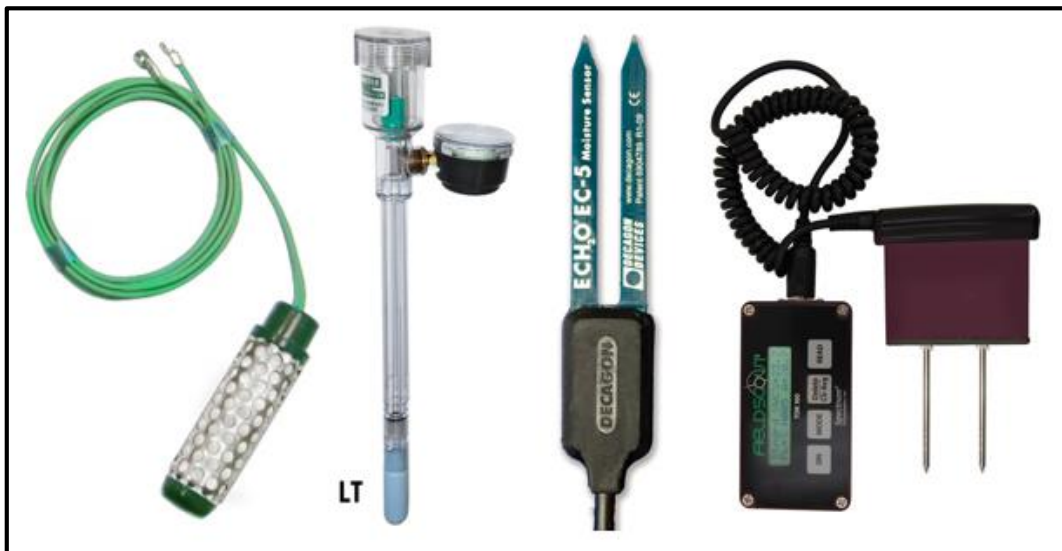


Figura 2.3.4. Sensor tipo electrodo, tensiómetro, sonda FDR y equipo TDR.
 Fuente: Véase [18] [17].
 Elaboración: Véase [18] [17].



Figura 2.3.5. Pluviómetro de balancín, pluviómetro de báscula.
 Fuente: Véase [21] [20].
 Elaboración: Véase [21] [20].

2.3.5.3. Posicionamiento mediante DGPS.

El GPS es considerado como un sistema global de navegación por satélite el cual permite obtener la posición de un determinado objeto, persona, etc. El sistema se encuentra constituido por una red de 27 satélites en órbita; el nivel de precisión del mismo depende del fabricante por lo general son centímetros, para obtener una ubicación el sistema de satélites realiza una triangulación los cuales se comunican y calculan la posición real en la que se encuentra ubicado el punto georreferenciado [22]. Un método de posicionamiento es el

DGPS, este consiste en el empleo de una estación base y un receptor móvil (*rover*), los cuales interactúan con el fin de obtener las coordenadas de la posición con mayor precisión. Se comparan los resultados y se calcula errores tratando de corregir y recalculando la posición inicial. Dichas correcciones pueden ser más precisas disminuyendo la distancia entre el receptor y la estación [23].

2.3.5.4. Técnica RTK.

Existen diversos métodos asociados a la técnica RTK, en general dicha técnica se basa en el procesamiento de las señales satelitales empleando las diferentes constelaciones de los satélites (GPS, GLONASS y SBAS), con un tipo de levantamiento cinemático en tiempo real; un equipo GPS RTK inicia la medición de su posición basándose en la técnica OTF (cinemático con inicialización en movimiento), lo que significa que el GPS RTK comienza a trabajar fijando diversos puntos en movimiento cercanos al principal y en un breve lapso de tiempo obtiene la posición esperada con precisión y con un control de calidad asociado al modelo del equipo GPS empleado. [24]

2.3.6. Estado actual de la zona de emplazamiento.

Identificada la zona de emplazamiento donde se ha instalado el sistema propuesto mediante las recomendaciones de Ingenieros del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil de la UTPL, la misma se encuentra ubicada en la vía de integración barrial Ángel Felicísimo Rojas, situado en el sector de Chontacruz (véase Figura 2.3.6). Seguidamente, se presentan algunas fotografías del estado actual de la zona de emplazamiento (véase Figura 2.3.7 a Figura 2.3.13), evidenciándose los efectos generados por los deslizamientos de tierra.



Figura 2.3.6. Ubicación de la zona de emplazamiento.

Fuente: Véase [25].

Elaboración: Los Autores.



Figura 2.3.7. Vista principal de la zona de emplazamiento, vía de integración barrial.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.



Figura 2.3.8. Vista lateral izquierda, construcción destruida por el desplazamiento del terreno.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.



Figura 2.3.9. Vista lateral derecha, construcción destruida por el desplazamiento del terreno.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.



Figura 2.3.10. Vista posterior, construcción destruida por el desplazamiento del terreno.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.



Figura 2.3.11. Extensión parcial de la zona de deslizamiento.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.



Figura 2.3.12. Irregularidades presentes en el terreno.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.



Figura 2.3.13. Efecto del deslizamiento sobre la vía de integración barrial.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

2.4. Redes de Sensores Inalámbricos.

Una red de sensores inalámbricos se define como un sistema que permite la integración de diferentes arquitecturas y tecnologías, con el fin de obtener un monitoreo, análisis y toma de acciones sobre un sinnúmero de eventos. A continuación, se describen los elementos que conforman la arquitectura y las tecnologías de comunicación de una WSN.

2.4.1. Arquitectura de una WSN.

Una WSN está conformada por diferentes dispositivos distribuidos, posee 3 elementos principales: un nodo el cual contiene los principales equipos que permiten la adquisición o monitoreo de variables, el *gateway* el cual provee conectividad inalámbrica y una estación base que permite manejar física e integralmente el sistema. La topología común de una WSN es en malla o en estrella [26].

2.4.1.1. Nodo.

Un nodo WSN o mota está conformado por varios elementos técnicos como: módulo de procesamiento, relojes de sincronismo, sensores, memoria, módulos de comunicación, fuente de energía, entre otros; éstos se encargan de adquirir las diferentes variables a partir

de los sensores acoplados para posteriormente transmitirlos mediante su *gateway* (si es el caso) y enviarla a una plataforma para almacenar y administrar la información [27].

2.4.1.2. Gateway.

El *gateway* considerado también como puerta de enlace, permite conectar o interconectar los nodos de toda la WSN con una red externa como una estación base o Internet (depende de los protocolos de comunicación) mediante un controlador embebido [27].

2.4.1.3. Estación base.

La estación base permite la recolección de datos de las variables de cada uno de los parámetros definidos en el nodo o mota, está basado en un ordenador común.

Tabla 2.4.1. Tecnologías de comunicación para WSN.

Características	GPRS	Zigbee	XBee-PRO 900	Unidad
Alcance Indoor	-	60	140	m
Alcance Outdoor (con línea de vista)	Global	1200	3000 a 10000	m
Potencia de Tx	500	3.1	50	mW
Sensibilidad de Rx	-108	-100	-100	dBm
Velocidad de Tx	56	250	156.25	kbps
Método de configuración	Comandos AT	API o Comandos AT	Comandos AT	
Banda del espectro	Comercial	ISM	ISM	
Banda de frecuencia	Rx: 0.869 a 0.894 Tx: 0.824 a 0.849	2.4	0.902 a 0.928	GHz
Rango de funcionamiento	-40 a +80	-40 a +85	-40 a 85	°C
Voltaje de operación	3.4 a 4.4	2.1 a 3.6	3.0 a 3.6	V
Nivel de consumo de corriente	2000	120	210	mA
Estándar	IEEE 802.20	IEEE 802.15.4		

Fuente: Véase [28] [29] [30].
Elaboración: Los Autores.

2.4.2. Tecnologías de comunicación en una WSN.

Las tecnologías de comunicación han tenido un rápido desarrollo, el más interesante es el de las WSN. Su objetivo básico es dotar a objetos con funciones de adquisición de

información y procesamiento, la capacidad de una conectividad permanente comunicándose con el resto de elementos que forman la WSN. Las tecnologías empleadas comúnmente en una WSN son: GPRS, Zigbee, XBee-PRO 900, Wi-Fi, entre otras. Dicha elección, se basa principalmente en su bajo consumo energético y costo de implementación (véase Tabla 2.4.1).

2.5. Plataformas Hardware *Open Source*.

En el desarrollo de sistemas emergentes surgen soluciones hardware y software *Open Source*, con el fin de implementar en un menor tiempo las pruebas de laboratorio y evaluaciones en campo, eliminando el proceso de desarrollo de una plataforma específica reduciéndose el tiempo para la culminación del prototipo que en futuras investigaciones puede evolucionar en un sistema más robusto. En el mercado, se encuentran varias soluciones disponibles para el desarrollo de las WSNs, solo es necesario considerar los requerimientos del sistema para su correcta selección; las plataformas de interés para la implementación del sistema propuesto son: Raspberry Pi y Mbili.

2.5.1. Raspberry Pi.

Creada por la Fundación Raspberry Pi con sede en Reino Unido en el año 2012, se denomina como un computador de placa simple y bajo costo (véase Figura 2.5.1) posee un sistema operativo GNU/Linux ARM. Incluye 40 pines GPIO, 4 puertos USB, adaptación para cámara, pantalla y audio, memoria RAM de 1GB y ranura MicroSD (véase Tabla 2.5.1).



Figura 2.5.1. Tarjeta Raspberry Pi modelo B V1.1.
Fuente: Véase [31].
Elaboración: Véase [31].

2.5.2. Mbili.

La plataforma Mbili (véase Figura 2.5.2) desarrollada por la empresa SODAQ, es una tarjeta de adquisición de datos compatible con Arduino, la misma ha tenido varias actualizaciones la más reciente es su revisión 6b. En sus especificaciones técnicas, una característica principal es la conexión directa de una variedad de sensores, actuadores, una batería LiPo y un panel solar, además de poseer un RTC y un *socket* Bee de comunicación (véase Tabla 2.5.2) [32].

Tabla 2.5.1. Especificaciones técnicas de la tarjeta Raspberry Pi.

Parámetro	Especificación	Unidad
Controlador	CPU ARM Cortex-A7 4 núcleos a 900 MHz	
Memoria	1GB de RAM	
Dimensiones	8.5 x 5.5	mm
Voltaje de operación	5	V
Nivel de consumo de corriente	500	mA
Puertos digitales I/O	40 pines GPIO	
Puertos USB	4	
Puerto Ethernet	1	
Almacenamiento	MicroSD card	
Interfaz	Cámara (CSI) 8 MP y pantalla (DSI).	
Consumo energético Cámara	250	mA
Núcleo gráfico	3D VideoCore IV	
Audio	Jack de 3.5mm y video compuesto	

Fuente: Véase [31].
Elaboración: Los Autores.

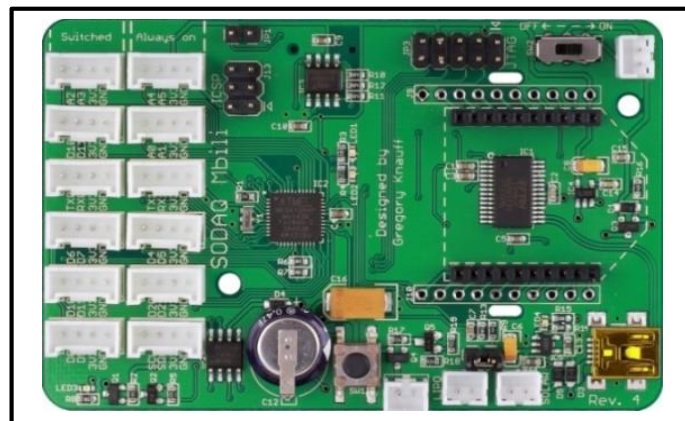


Figura 2.5.2. Tarjeta Mbili.
Fuente: Véase [32].
Elaboración: Véase [32].

Tabla 2.5.2. Especificaciones técnicas de la tarjeta Mbili.

Parámetro	Especificación	Unidad
Microcontrolador	Atmega1284P	
Flash Memory	128	kB
EEPROM	16	kB
Clock Speed	8	MHz
Voltaje de operación	3.3	V
Voltaje de alimentación	3.7 a 5 (batería LiPo o USB)	V
Socket JST	Batería LiPo, panel solar	
Puertos digitales I/O	10 con UART e I2C	
Puertos de entrada analógicos	6 canales ADC de 12-bit	
Puertos de salida analógicos	ADC de 10-bit	
Puertos grove	12	
Comunicación	Socket Bee compatible	
Almacenamiento	16 kB Data flash module y MicroSD card	
RTC	Disponible	

Fuente: Véase [32] [33].
Elaboración: Los Autores.

2.5.3. PowerBoost

El módulo PowerBoost creado por Adafruit (véase Figura 2.5.3), es una tarjeta capaz de recargar una batería de 3.7V, además de actuar como un convertor de carga DC/DC de 3.7V a 5.2V (véase Tabla 2.5.3) [34].

Tabla 2.5.3. Especificaciones técnicas del módulo PowerBoost.

Parámetro	Especificación	Unidad
Voltaje de alimentación	3.7	V
Voltaje de salida del convertor	5.2	V
Voltaje de carga de baterías	3.7 a 4.2	V
Socket JST	Batería LiPo	
Conector de carga	Micro USB	
Corriente máxima	1	A
Dimensiones	23 x 45 x 10	mm

Fuente: Véase [34].
Elaboración: Los Autores.

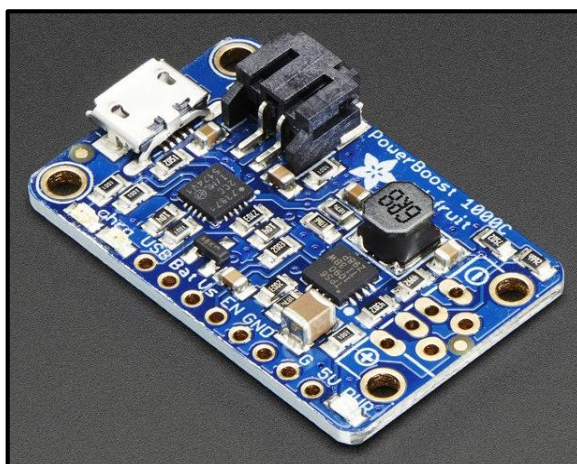


Figura 2.5.3. PowerBoost 1A.

Fuente: Véase [34].

Elaboración: Véase [34].

2.6. Plataformas de IoT.

Para el almacenamiento masivo de información es necesario contar con un servidor donde guardar la gran cantidad de datos generados por todos los dispositivos IoT conectados y por aquellos que se conectarán en el futuro. Las mismas plataformas IoT proveen librerías para facilitar la conectividad con los dispositivos, ya que cada una presenta diferentes protocolos de comunicación y especificaciones diferentes al momento de publicar los datos. Además, cada una presenta diferentes tipos de alertas o eventos que informan al usuario la variación de algún parámetro.

2.6.1. Ubidots.

Es una plataforma del IoT, compatible con diferentes plataformas, módulos y aplicaciones desarrolladas. Su interfaz posee tableros con diferentes funcionalidades para interactuar y potenciar las soluciones de los proyectos IoT. Dirigida principalmente hacia la educación y el sector empresarial, con el fin de aumentar la investigación y la satisfacción de los clientes, respectivamente [35]. Su documentación basada en API brinda diversos contenidos como: información sobre los protocolos de comunicación para publicar datos soportados por la plataforma, en este caso MQTT y HTTP; ejemplos de firmware para utilizar la plataforma con diversos dispositivos y tarjetas electrónicos disponibles en el mercado; librerías para utilizar los servicios de Ubidots con diferentes lenguajes de programación [36].

2.6.2. ThingSpeak - MathWorks.

Es una plataforma de análisis de IoT que tiene la capacidad de almacenar y visualizar variables permanentemente. Además, ofrece el análisis y visualización de la información mediante la utilización del software MATLAB [37].

Los protocolos de comunicación utilizados para publicar datos son MQTT y HTTP. Permite analizar toda la información almacenada a través de scripts desarrollados en MATLAB, también permite realizar gráficas para dar seguimiento a la información [38].

2.6.3. Phant - SparkFun.

Phant es una plataforma que ofrece un servicio gratuito pero limitado para proyectos relacionados con IoT, creado para que investigadores y desarrolladores utilicen todos los dispositivos disponibles por la tienda de SparkFun. Además, es un software *Open Source*, permitiendo instalar esta plataforma en cualquier otro servidor. Al poseer espacio limitado para el almacenamiento, si sobrepasa su límite se borra la información más antigua [39].

El protocolo de comunicación utilizado para almacenar información es URL encode basada en HTTP, mediante una URL y una contraseña pública, creándose una concatenación de varias cadenas, estableciendo las variables y valores a publicar [40].

2.6.4. Portal de Estaciones Meteorológicas de la UTPL.

El portal de estaciones meteorológicas desarrollado por la UTPL con el apoyo de REDCEDIA, concebida como una plataforma donde se combinan varias tecnologías *Open Source* para la integración de una infraestructura de datos espaciales, utilizada para el almacenamiento de información de diferentes estaciones meteorológicas desplegadas en todo el Ecuador por algunas universidades miembro de REDCEDIA, en su mayoría de la UTPL [41].

El protocolo de comunicación para transmitir parámetros hacia la plataforma es MQTT, mediante un tópico y código de estación proporcionada por la misma.

2.6.5. Comparación entre plataformas IoT.

Considerando que existen varias plataformas IoT en Internet, se especifican algunas de las más populares, las cuales ofrecen diferentes beneficios y aplicaciones a sus usuarios. Para la correcta selección de alguna de ellas, según la aplicación, es necesario comparar: tipo de suscripción, número de variables, historial de almacenamiento, costo, entre otros (véase Tabla 2.6.1).

2.6.6. Protocolos de comunicación con las plataformas IoT.

Se describen algunos de los protocolos de comunicación utilizados para publicar información en las plataformas IoT mencionadas.

Tabla 2.6.1. Comparación de especificaciones entre plataformas IoT en versión gratuita.

Características	Ubidots	ThingSpeak	Phant	Portal de Estaciones Meteorológicas de la UTPL
Tipo de suscripción	Por créditos o puntos	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Variables por canal	5	8	-	Indefinidas
Número de dispositivos	1 a 20	-	-	Indefinido
Historial	3 meses	-	Hasta sobrepasar límite de almacenamiento	-
Costo	1000 créditos por \$ 5.00	Gratuito	Gratuito	Gratuito
Tasa	60 publicaciones cada minuto	1 publicación cada 15 segundos	100 publicaciones cada 15 minutos	-
Protocolo de comunicación	HTTP, MQTT	HTTP, MQTT	HTTP URL-encode	MQTT
Formato descarga de datos	CSV, JSON	CSV, JSON	CSV, JSON, JSONP	CSV, JSON
Tipo de alerta	SMS, Email, Telegrama	Twitter	-	SMS, Email

Fuente: Véase [41] [37] [40] [35].
 Elaboración: Los Autores.

2.6.6.1. HTTP.

HTTP es un protocolo que permite intercambiar información en la World Wide Web. Los métodos HTTP utilizados para el intercambio de información entre los terminales y las plataformas IoT son: GET, POST, PUT y DELETE. Cada plataforma especifica su dirección HTTP o HTTPS mediante su correspondiente URL a través del puerto 80. Para guardar la información en las plataformas IoT, la ruta se define en la URL, mientras que los valores de cada parámetro se especifican en formato JSON [38] [35].

2.6.6.2. HTTP URL Encode.

URL Encode transforma los caracteres en un formato que puedan ser transmitidos por la World Wide Web, utiliza solo caracteres ASCII. Es decir, genera una URL donde se transmite toda la información del servidor, la ruta de las variables y el valor de cada parámetro. Al igual que en HTTP utiliza el puerto 80 [42].

2.6.6.3. MQTT.

MQTT es un protocolo de mensajería M2M, simple y ligero, sobre el protocolo TCP/IP; es utilizado en dispositivos pequeños como *smartphones* o en nodos WSN donde el procesamiento, ahorro de energía y el ancho de banda son limitados. Utiliza el puerto 1883 [43].

Para la suscripción y publicación cada plataforma IoT requiere un *broker* o servidor para que los terminales puedan conectarse a través de un cliente MQTT. Mediante la utilización de un *topic* o tema, utilizado como ruta jerárquica para la identificación de la ubicación cada variable, cada dispositivo puede almacenar la información correspondiente a cada parámetro [38]. Dependerá de cada plataforma IoT especificar cuál es su MQTT *broker* y como establecer su *topic*.

2.7. Estaciones de monitoreo comerciales.

Una estación de monitoreo puede considerarse como un sistema que permite conocer el estado actual de parámetros definidos, almacenando la información remotamente; en una WSN es común encontrar estaciones que permiten el monitoreo remoto de variables relacionadas con la meteorología y la agricultura en tiempo real, reduciéndose la demanda en costos en proyectos de monitoreo como: inversión de equipos, materiales y recursos humanos; disminuyendo el riesgo de pérdida de vidas humanas y materiales.

Actualmente, se puede encontrar varias estaciones de monitoreo comerciales, clasificándolas por su precisión, aplicación y precio (véase Tabla 2.7.1).

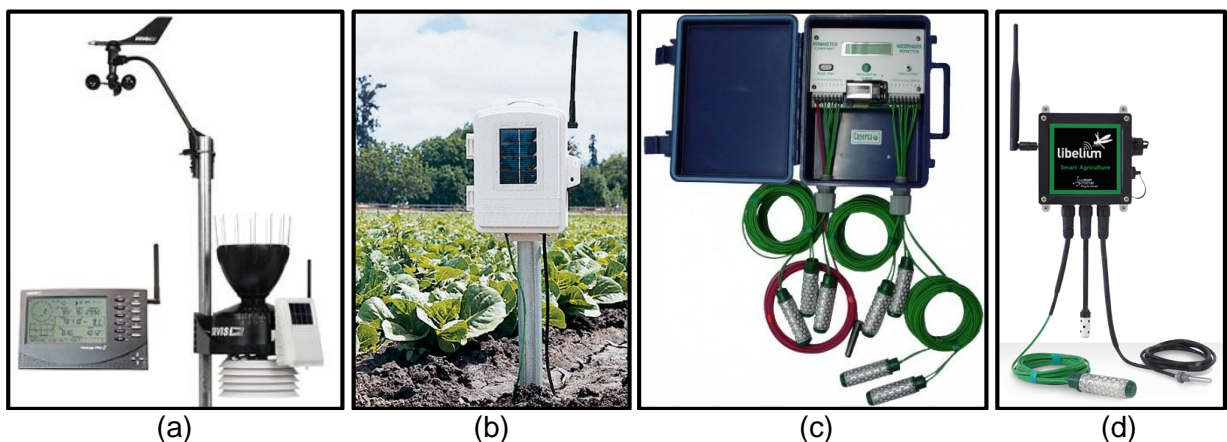


Figura 2.7.1. Estaciones de monitoreo comerciales: (a) Estación Wireless Vantage Pro2 with Standard Radiation Shield, (b) Estación Complete Wireless Leaf & Soil Moisture Temperature, (c) Estación 900M Watermark Monitor y (d) Nodo Smart Agriculture.

Fuente: Véase [44] [45] [46] [47].

Elaboración: Véase [44] [45] [46] [47].

Tabla 2.7.1. Comparación de especificaciones técnicas entre estaciones de monitoreo comerciales.

Características	Estación Wireless Vantage Pro2 with Standard Radiation Shield (véase Figura 2.7.1)	Estación Complete Wireless Leaf & Soil Moisture Temperature (véase Figura 2.7.1)	Estación 900M Watermark Monitor (véase Figura 2.7.1)	Nodo Smart Agriculture (véase Figura 2.7.1)
Proveedor	EE. UU.	EE. UU.	Irrrometer, EE. UU.	Libelium, España
Tipo de Consola	Davis Instrument, Davis Vantage Pro2	Davis Instrument	Irrrometer, Monitor de marca de agua	Libelium, Smart Agriculture
Característica principal	Vigilar condiciones de temperatura, humedad, viento, necesidades de riego y posibles inundaciones.	Monitoreo en tiempo real de lluvia, viento, humedad y temperatura del aire. Incluye panel solar.	Lectura automática de sensores en un intervalo seleccionable por el usuario.	Fácil y rápido despliegue, escalabilidad, compatibilidad, protección IP65, fácil adaptación de sensores de agua, tierra o aire.
Sensores compatible	Vantage Pro2. Sensor de lluvia, viento, temperatura y humedad, radiación solar y UV.	Cuatro sensores de humedad y cuatro sondas de temperatura de suelo (diferentes profundidades).	Capacidad de 8 sensores. Sensor de lluvia, viento, temperatura y humedad, radiación solar y UV.	Presión atmosférica, Humedad de la hoja, Humedad, Temperatura, Humedad de suelo, Temperatura de suelo, Dendrómetro, Radiación solar y UV.
Plataforma compatible	Weatherlink (estación completa) Ubidots ThingSpeak Phant	Ubidots ThingSpeak Phant	Ubidots ThingSpeak Phant	Ubidots ThingSpeak Phant

Fuente: Véase [35] [37] [39] [44] [48] [47] [49].

Elaboración: Los Autores.

CAPÍTULO III
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1. Introducción.

En el presente capítulo se establecen los requerimientos necesarios, basados en las necesidades y variables involucradas, para el diseño y construcción de cada uno de los elementos que forman parte del sistema propuesto según la topología de red utilizada. Se describen las plataformas hardware y software, su adecuación y configuración. También, se detallan los diagramas de flujo de los algoritmos lógicos empleados para la adquisición y procesamiento de datos a través de los equipos GPS y sensores, además, el intercambio de información entre los elementos de la WSN y la plataforma IoT.

3.2. Análisis de requerimientos.

Considerándose los métodos de medición descritos para la determinación de un movimiento de masa o deslizamiento de tierra según estudios realizados en el cantón Loja (véase Sección 2.3.4), se identificaron tres variables a monitorear: humedad del suelo, precipitación pluvial y posicionamiento mediante puntos georreferenciados. Partiéndose de los objetivos (véase Sección 1.3) y de las variables determinadas, se especifican los requerimientos mínimos del sistema propuesto:

- Tener un *gateway* y un nodo con autonomía energética, distribuidos en el área de emplazamiento.
- En el *gateway*: sensor y almacenar la precipitación pluvial, capturar una imagen diaria y tener la capacidad de enviar los datos obtenidos a un servidor en Internet.
- Generar una correlación del posicionamiento georreferenciado mediante la técnica RTK utilizando una estación base en el *gateway* (punto fijo) y un *rover* en el nodo (punto en movimiento).
- En el nodo: sensor y almacenar los valores de humedad del suelo a diferente profundidad y posicionamiento mediante georreferenciación.
- Poseer comunicación sincronizada entre cada elemento de la red para establecer el intercambio de información y la correlación de coordenadas entre el *gateway* y los nodos.
- Estándar IP65, NEMA 4 o superior (resistencia de cada elemento al agua y polvo).

3.3. Diseño conceptual de la WSN.

En el desarrollo e implementación del sistema propuesto, para la obtención de los datos críticos que afectan al deslizamiento de tierra, se plantea el uso de una WSN compuesta por un *gateway* y un nodo. La WSN presenta una topología de red en estrella, donde el *gateway* actúa como elemento coordinador de los nodos. Para el intercambio de información entre el *gateway* y los nodos se utilizó tecnología inalámbrica XBee-PRO 900 en la banda ISM. Sin

embargo, dado que los movimientos de masa se producen en la periferia de la ciudad, en lugares donde no existe acceso a una red Wi-Fi con conexión a Internet teniéndose que montar una infraestructura adicional para el envío de información, se ha optado por emplear la red de telefonía móvil celular ya desplegada por los prestadores de servicios de telecomunicaciones que operan en el país [50] [51] [52], enviándose los datos a través de GPRS para posteriormente almacenarse en la plataforma IoT para su análisis por parte de los usuarios en sus respectivos terminales (véase Figura 3.3.1).

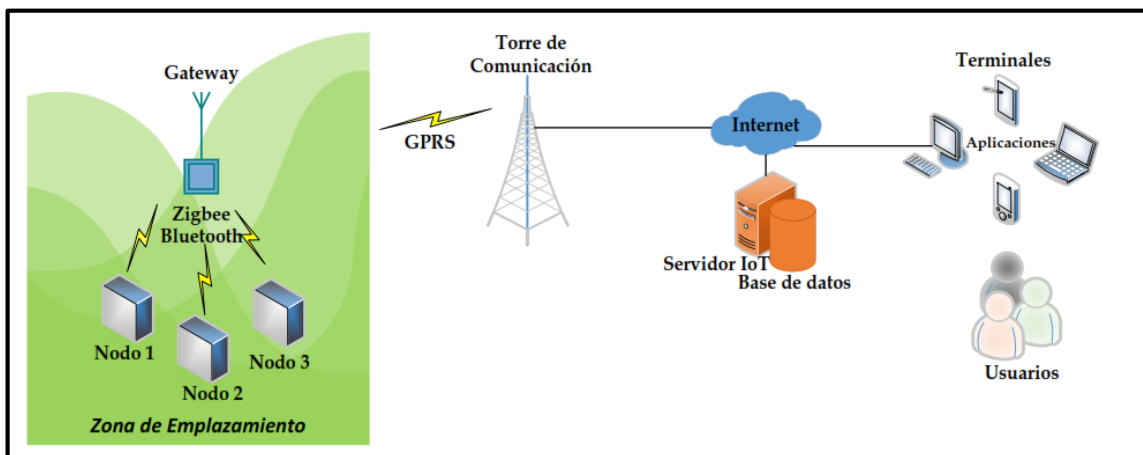


Figura 3.3.1. Arquitectura del sistema WSN propuesto.
 Fuente: Los Autores.
 Elaboración: Los Autores.

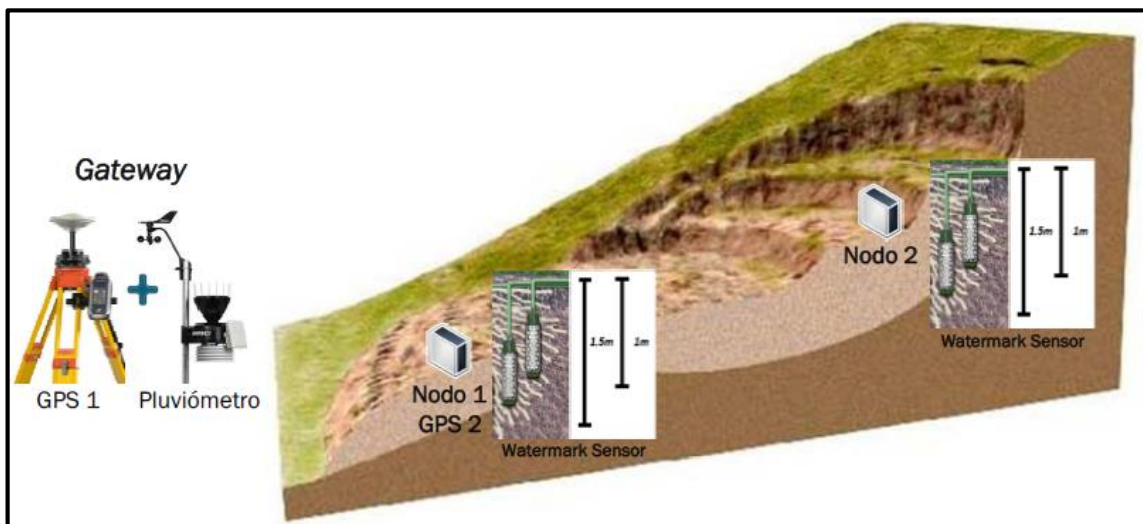


Figura 3.3.2. Esquema del sistema WSN propuesto.
 Fuente: Los Autores.
 Elaboración: Los Autores.

El *gateway* se ubica a una distancia considerable de la punta del deslizamiento de tierra por protección de los equipos internos y externos, como el pluviómetro, evitándose la inclinación y obstrucción del sensor con algún material pétreo; además, actúa como la posición fija de referencia (estación base) del sistema GPS para los nodos (*rover*) ayudando en la

correlación de los puntos. Sin embargo, los nodos se distribuyen por el terreno afectado por el movimiento de masa, se instalan en los contornos izquierdo o derecho según su orientación (vertical u horizontal); para realizar la medición de la humedad del suelo, se instalan los sensores a diferentes niveles de profundidad 1m y 1.5m; la variación en la posición de cada punto obedecerá al desplazamiento de tierra, la precisión centimétrica de la medición dependerá de la correlación de la posición con la estación base y de la técnica RTK que utilice el equipo GPS (véase Figura 3.3.2).

3.3.1. Tecnologías inalámbricas de comunicación de la WSN.

Explicado el diseño de la WSN (véase Sección 3.3), se considera el uso dos tecnologías inalámbricas de comunicación; para el intercambio de información entre el *gateway* y los nodos la tecnología XBee-PRO 900 que opera en la banda ISM de 900 MHz, con el propósito de almacenar los datos en una MicroSD card. Y utilizar la red de telefonía celular mediante GPRS para la comunicación entre el *gateway* y la plataforma IoT para el envío y almacenamiento de los datos en Internet (véase Figura 3.3.3).

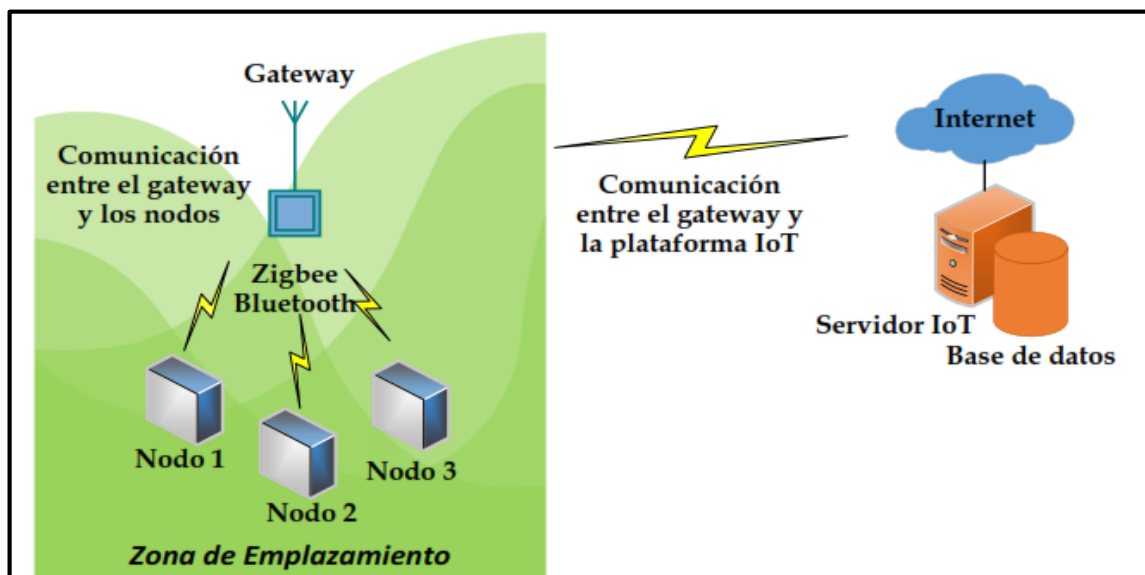


Figura 3.3.3. Esquema de comunicación del sistema WSN propuesto.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.

3.3.1.1. Comunicación entre el gateway y los nodos.

Cada nodo mediante sus módulos de comunicación envían al *gateway* una trama compuesta por el ID del nodo, todas las variables obtenidas por cada sensor, la fecha y hora exacta de medición (véase Figura 3.3.4), las cuales posteriormente serán almacenadas en el *gateway* y enviadas a la plataforma IoT.

#	ID Nodo	:	Hum 1	:	Hum 2	:	Coor. x	:	Coor. y	:	Coor. z	:	Bateria	:	Panel	:	Fecha/Hora	%
---	------------	---	----------	---	----------	---	------------	---	------------	---	------------	---	---------	---	-------	---	------------	---

Figura 3.3.4. Formato de la trama de envío desde el nodo al *gateway*.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

3.3.1.2. Comunicación entre el *gateway* y la plataforma IoT.

Revisados los protocolos de comunicación soportados por las diferentes plataformas IoT (véase Sección 2.6.6), se empleó el protocolo *HTTP URL Encode* almacenando los datos en la plataforma ThingSpeak. La organización y sintaxis de la información (véase Figura 3.3.5 a Figura 3.3.6) se encuentra conceptualizada en la misma plataforma IoT, al no seguir dicha estructura se presentarían problemas en el almacenamiento y publicación de la información.

`valor1=Pluviómetro&valor2=Bateria&valor3=Panel&status=Fecha/Hora`

Figura 3.3.5. Sintaxis para el envío de la información del *gateway* hacia la plataforma IoT.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

`valor1=Hum1&valor2=Hum2&valor3=CoorX&valor4=CoorY&valor5=CoorZ&valor6=Bateria&valor7=Panel&status=Fecha/Hora`

Figura 3.3.6. Sintaxis para el envío de la información del nodo hacia la plataforma IoT.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

3.4. Diseño de cada elemento de la WSN.

Descrita la arquitectura del sistema (véase Sección 3.3), se diseña cada elemento (*gateway* y nodo) por separado bajo los requerimientos establecidos (véase Sección 3.2). Para la construcción de cada elemento, se utilizan plataformas *Open Source* y equipos disponibles en el mercado.

3.4.1. Características del *gateway*.

Según las especificaciones para el diseño del *gateway*, se consideran varios elementos necesarios para el correcto desempeño del sistema (véase Figura 3.4.1). Se definieron elementos internos, los cuales se instalaron dentro de una caja estanca IP67 (resistente al agua y polvo), y elementos externos, los mismos que se interconectan con la caja mediante conectores IP68 (sensores y panel solar) y conectores RPSMA (antenas).

A través de la tarjeta Raspberry Pi (véase Sección 2.5.1), se adquirió una imagen diaria del área de emplazamiento mediante el empleo de una cámara nocturna; se utiliza una Mbil (véase Sección 2.5.2) para la adquisición y procesamiento de la información, la misma que cuenta con elementos como: *socket Bee*, para la instalación del módulo GPRS para el envío de los datos a la plataforma IoT; memoria externa MicroSD Card, para el almacenamiento

de las variables (véase Figura 3.4.2 a Figura 3.4.3); RTC y cargador de baterías LiPo. Alimentándose el *gateway* mediante una batería LiPo y un cargador DC de 5V/2A. Además, se ha diseñado una tarjeta adicional para la adaptación del pluviómetro, el módulo *Reach RTK GNSS* y el módulo de comunicación XBee-PRO 900, para el intercambio de información con los nodos de la WSN. Se utilizaron dos antenas dipolo omnidireccionales de 3 dBi.

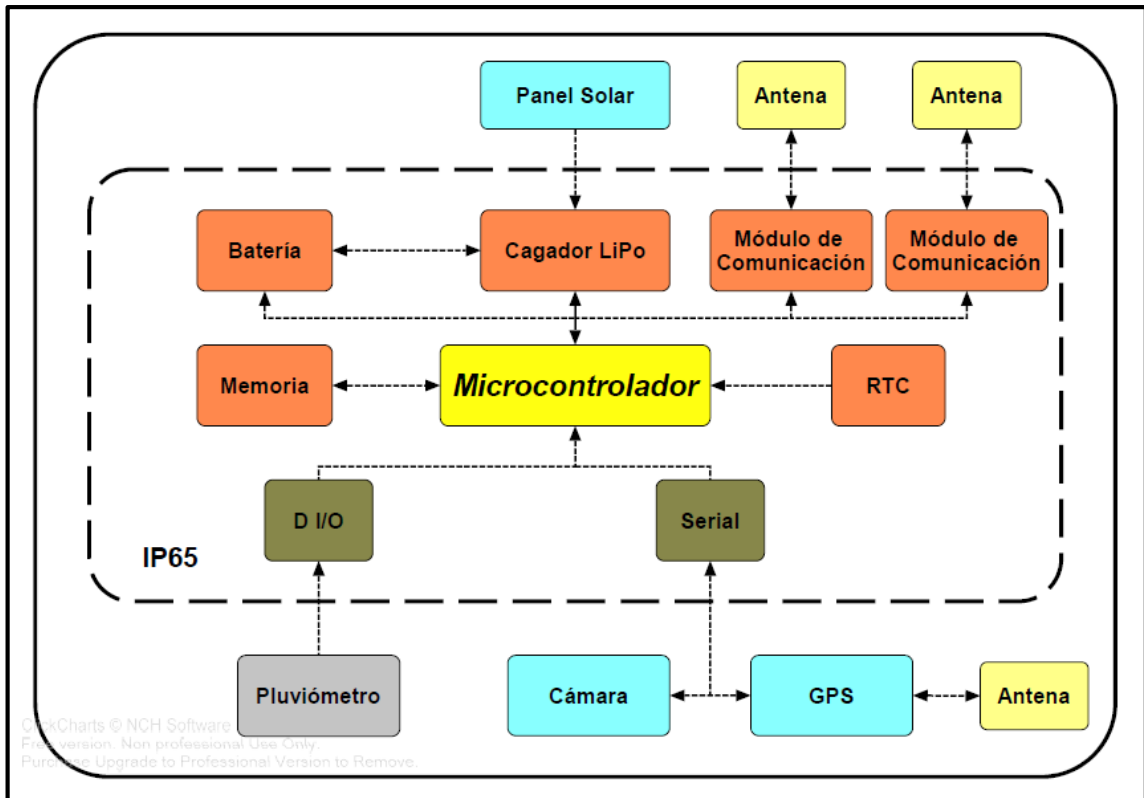


Figura 3.4.1. Diagrama de la arquitectura del *gateway*.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.

Fecha/Hora	,	Pluviómetro	,	Batería	,	Panel
------------	---	-------------	---	---------	---	-------

Figura 3.4.2. Sintaxis para el almacenamiento en la MicroSD card del *gateway*.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.

Fecha/Hora	,	Hum 1	,	Hum 2	,	Coor. x	,	Coor. Y	,	Coor. z	,	Batería	,	Panel
------------	---	-------	---	-------	---	---------	---	---------	---	---------	---	---------	---	-------

Figura 3.4.3. Sintaxis para el almacenamiento en la MicroSD card del nodo.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.

3.4.2. Características del nodo.

En la implementación de cada nodo, se consideraron varias características similares a la composición del *gateway* (véase Sección 3.4.1) a excepción de algunos elementos (véase

Figura 3.4.4); además, se emplea un solo módulo de comunicación para el intercambio de información con el *gateway* dentro de la WSN, también para la alimentación del nodo se utiliza una batería LiPo y un panel solar. De igual forma se diseña una tarjeta para la adaptación de los sensores de humedad y el módulo *Reach RTK GNSS*.

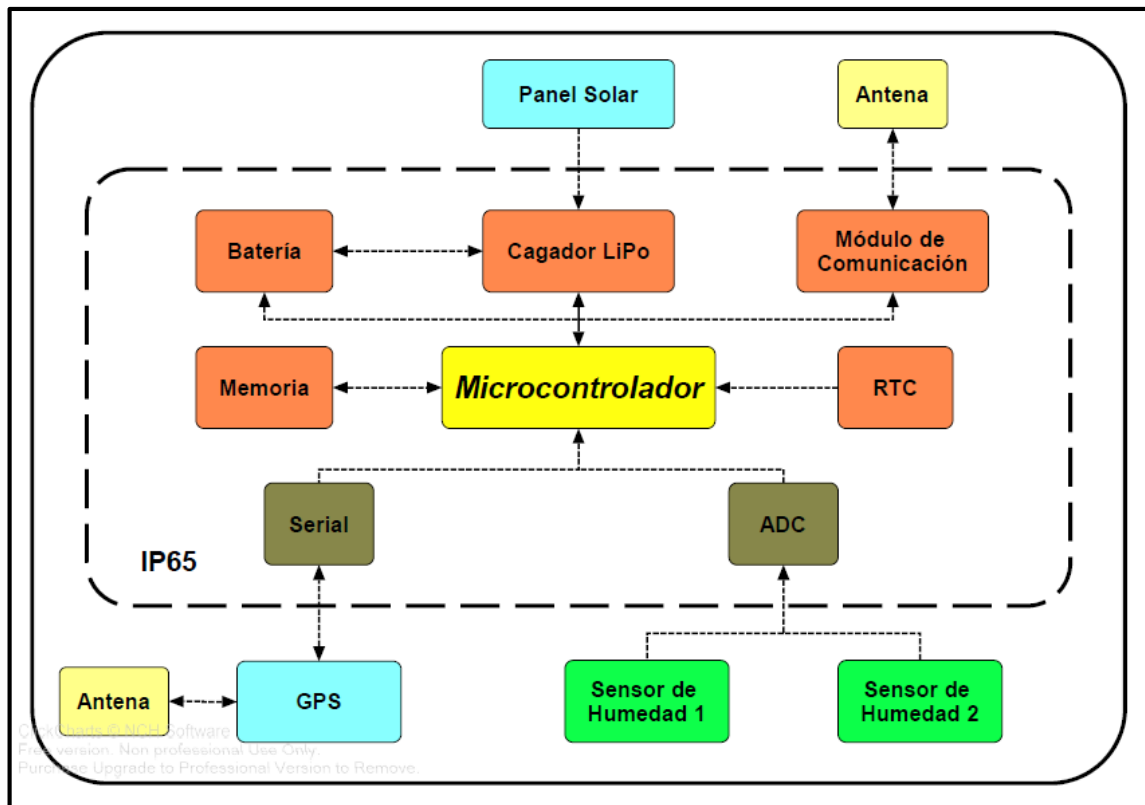


Figura 3.4.4. Diagrama de la arquitectura del nodo.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

3.4.3. Especificación de sensores.

Mencionadas las variables involucradas en los deslizamientos de tierra y los respectivos instrumentos usados para su medición (véase Sección 2.3.5), se realiza una comparación entre varios sensores disponibles en el mercado para seleccionar según su aplicación el sensor más robusto y preciso. Además, se describen las especificaciones técnicas de cada sensor y módulo empleado para el monitoreo de dichas variables.

3.4.3.1. Sensor de humedad.

Se analizan los sensores de humedad comerciales, éstos varían según su aplicación, resistencia y precio (véase Tabla 3.4.1). Analizándose las especificaciones anteriores, el sensor Watermark 200SS (véase Figura 3.4.5) posee especificaciones de robustez necesarias en la implementación del sistema propuesto (véase Tabla 3.4.2). Mediante electrodos mide la tensión o presión del agua en la tierra a través de una variación de su resistencia y presenta una calibración estable [53], cuya unidad de medida se representa en

Pascales. El mismo se basa en el método tensiométrico, lo que significa que mide la fuerza física actual de retención de agua en el suelo, sin necesidad de preparar el terreno para su instalación.

Tabla 3.4.1. Comparación de especificaciones entre sensores de humedad.

Características	SHT10	VH400	Watermark 200SS	Unidad
Costo	Bajo	Medio	Medio	
Longitud de cable	1	2, 5, 10	1.5, 4.5	m
Aplicaciones	Jardinería	Jardinería	Agricultura	
Unidad	%	%	kPa	

Fuente: Véase [54] [55] [53].
Elaboración: Los Autores.

Tabla 3.4.2. Especificaciones técnicas del sensor de humedad Watermark 200SS.

Parámetro	Especificación	Unidad
Diámetro	22	mm
Longitud	83	mm
Peso	0.067	kg
Estado	Sólido	
Rango de medición	0 a 239	kPa
Material	Tapa de ABS con cuerpo de acero inoxidable	
Voltaje de alimentación	3.2 a 5	V
Calibración	Estable	
Longitud del cable	1.5, 4.5	m
Tipo de cable	2 terminales, 20 AWG	

Fuente: Véase [53].
Elaboración: Los Autores.

La relación entre la presión del suelo, generada por la variación del nivel de agua en la tierra, y la resistencia, medida a través de un pin analógico mediante el empleo del ADC del módulo de procesamiento haciendo uso de un divisor de voltaje, está dado por tres ecuaciones según el rango de la resistencia medida (véase Ecuación (1) a Ecuación (3)) [56].

Para $0 < R \leq 1 \text{ k}\Omega$:

$$P = -20 \left(R \left(1 + (0.018(T - 24)) \right) - 0.55 \right) \quad (1)$$

Para $1 \text{ k}\Omega < R \leq 8 \text{ k}\Omega$:

$$P = \frac{((-3.213 R) - 4.093)}{(1 - (0.009733 R) - (0.01205 T))} \quad (2)$$

Para $8 \text{ k}\Omega < R$:

$$P = -2.246 - \left(5.239 R \left(1 + (0.018(T - 24)) \right) \right) - \left(0.06756 R^2 \left(1 + (0.018(T - 24)) \right) \right)^2 \quad (3)$$

Dónde:

P : Presión del suelo, en kPa (Pascal).

R : Resistencia, en k Ω .

T : Temperatura, 24°C.



Figura 3.4.5. Watermark 200SS.
Fuente: Véase [53].
Elaboración: Véase [53].

3.4.3.2. Sensor de precipitación pluvial.

Se comparan las principales especificaciones de dos equipos disponibles comercialmente: Weather Meters y AeroCone Rain Collector #6465 (véase Tabla 3.4.3). Según las características presentadas anteriormente, el AeroCone Rain Collector #6465 (véase Figura 3.4.6) cumple con las características de precisión y robustez (véase Tabla 3.4.4) necesarias para la implementación del sistema propuesto. Además, debido a su forma aerodinámica se reduce el error en la medición producido por el desvío de la lluvia por los fuertes vientos, recolectándose 8% más de lluvia que modelos anteriores [57].

Tabla 3.4.3. Comparación de especificaciones entre sensores de precipitación pluvial.

Características	Weather Meters	AeroCone Rain Collector #6465	Unidad
Acondicionamiento	Sí	Sí	
Costo	Medio	Alto	
Material	Plástico	ABS con resistencia UV	
Precisión	-	± 4 a ± 5	%
Forma aerodinámica	No	Sí	
Sensores incluidos	Anemómetro, pluviómetro, veleta	Pluviómetro	
Tipo de sensor pluviómetro	Switch magnético	Switch magnético	
Tipo de sensor anemómetro y veleta	Switch magnético	-	
Capacidad de lluvia	0.2794	0.1 a 0.2	mm
Tamaño del colector de lluvia	Pequeño	Grande	

Fuente: Véase [58] [21].
Elaboración: Los Autores.



Figura 3.4.6. AeroCone Rain Collector #6465.
Fuente: Véase [59].
Elaboración: Véase [59].

Tabla 3.4.4. Especificaciones técnicas del AeroCone Rain Collector #6465.

Parámetro	Especificación	Unidad
Tipo de sensor	Switch magnético	
Área del colector	214	cm ²
Precisión con tasa de lluvia hasta 50 mm/h	±4 %	%
Precisión con tasa de lluvia de 50 mm/h a 100 mm/h	±5 %	%
Intervalo de actualización	20 a 24	s
Conector	RJ-11	
Material	ABS con resistencia UV	
Longitud del cable	12	m
Longitud máxima del cable	270	m
Dimensiones	23.5 x 26 x 28	cm

Fuente: Véase [60].

Elaboración: Los Autores.

3.4.3.3. Equipo GPS.

Para determinar un movimiento o desplazamiento de tierra con variación de centímetros es necesario emplear equipos GPS de precisión centimétrica, por lo que se seleccionó el módulo *Reach RTK GNSS* (véase Figura 3.4.7), el cual presenta diferentes características y especificaciones (véase Tabla 3.4.5). El módulo es un GPS de monofrecuencia en tiempo real capaz de corregir errores en su ubicación mejorando su precisión, utilizando sistemas de posicionamiento y otros módulos GPSs como estación base a través de la técnica RTK. Opera con una antena Tallysman TW4721 compacta (véase Tabla 3.4.6) con recepción de señales en: banda L de GPS, GLONASS, Beidou y Galileo.



Figura 3.4.7. Módulo *Reach RTK GNSS*.

Fuente: Véase [61].

Elaboración: Véase [61].

Tabla 3.4.5. Especificaciones técnicas del Módulo *Reach RTK GNSS*.

Parámetro	Especificación	Unidad
Dimensiones	45.5 x 27 x 9.2	mm
Voltaje de alimentación	4.75 a 5.5	V
Voltaje de pines lógicos	3.3	V
Voltaje máximo en todos los pines	5.5	V
Consumo máximo de corriente	500	mA
Consumo promedio de corriente	200	mA
Rango de funcionamiento	-20 a 65	°C
Almacenamiento interno	2	GB
Interfaces	Wi-Fi, <i>Bluetooth</i> , USB, UART, Eventos	
Formato de entrada de correcciones	RTCM2, RTCM3	
Formato de salida de ubicación	Texto plano, ERB, NMEA0183	
Registros	RINEX2X, RINEX3X	
Recepción de señales	GPS/QZSS L1, Galileo E1, SBAS, GLONASS G1, BeiDou B1	
Canales	72	
Tasa de actualización	14 / 5	Hz
Tipo de posición	Estática, Cinemática	
Posicionamiento estático	Horizontal: $\pm 5\text{mm} + 1\text{ppm}$ Vertical: $\pm 10\text{mm} + 2\text{ppm}$	
Posicionamiento cinemático	Horizontal: $\pm 7\text{mm} + 1\text{ppm}$ Vertical: $\pm 14\text{mm} + 2\text{ppm}$	

Fuente: Véase [61].
Elaboración: Los Autores.

3.4.4. Módulos de comunicación.

Analizado el diseño del sistema propuesto y el envío de la información dentro de la WSN y hacia la plataforma IoT para su almacenamiento (véase Sección 3.3), se describen las especificaciones técnicas de cada uno de los módulos de comunicación para las diferentes etapas.

3.4.4.1. Módulo de comunicación de la WSN con la plataforma IoT.

El módulo de comunicación utilizado en el envío, almacenamiento y publicación de la información en la plataforma IoT es el GPRSbee, haciendo uso de la infraestructura de comunicaciones móviles GSM a través de la tecnología GPRS (véase Figura 3.4.8). Una vez

analizada la especificación técnica (véase Tabla 3.4.7) se considera que posee los requisitos mínimos para la viabilidad del sistema propuesto.

Tabla 3.4.6. Especificaciones técnicas de la Antena Tallysman TW4721 multi-GNSS para el módulo Reach RTK GNSS.

Parámetro	Especificación	Unidad
Dimensiones	38 x 38 x 14	mm
Voltaje de alimentación	1.8 a 16	V
Nivel de consumo de corriente	10 a 15	mA
Recepción de señales	GPS banda L, Galileo (L1, G1, B1, B1 BOC, B12, E1), SBAS, GLONASS	
Ganancia LNA	26	dB
Ruido	1	dB
Conector	MCX	

Fuente: Véase [62].
Elaboración: Los Autores.



Figura 3.4.8. Módulo GPRSbee.
Fuente: Véase [28].
Elaboración: Véase [28].

Tabla 3.4.7. Especificaciones técnicas del módulo GPRSbee.

Parámetro	Especificación	Unidad
Voltaje de operación	3.4 a 4.4	V
Nivel de consumo de corriente máxima	2	A
Banda de frecuencias	GSM 850, EGSM900, DCS1800, PCS1900	
Potencia de transmisión	1 a 2	W
Rango de funcionamiento	-40 a 85	°C
Tipo de antena	conector RF U.FL	

Fuente: Véase [28] [63].
Elaboración: Los Autores.

3.4.4.2. Módulos de comunicación entre los elementos que conforman la WSN.

Por otro lado, el módulo de comunicación elegido para el intercambio de datos dentro de la WSN entre los nodos y el *gateway* es el XBee-PRO 900 (véase Figura 3.4.9), cuyas especificaciones técnicas cumplen con los requisitos (véase Tabla 3.4.8).

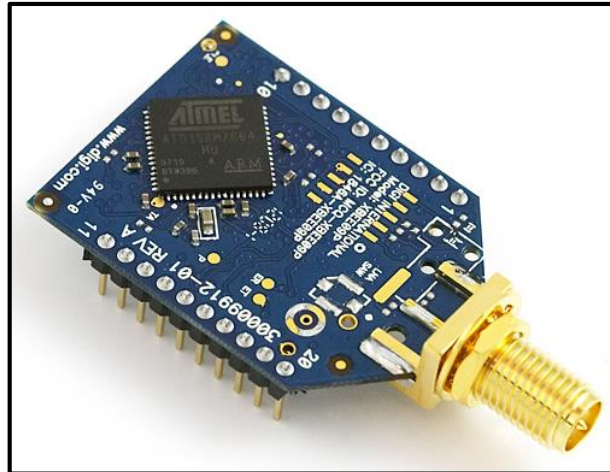


Figura 3.4.9. Módulo XBee-PRO 900.

Fuente: Véase [64].

Elaboración: Véase [64].

La configuración de los módulos se realiza mediante el software XCTU [65] utilizando una topología de red en árbol (véase Tabla 3.4.9).

3.4.5. Acondicionamiento de los sensores.

Seleccionados los sensores y módulos para la adquisición de cada una de las diferentes variables (véase Sección 3.4.3), se diseña una tarjeta modular con el fin de acondicionar los equipos y módulos de comunicación. Además, se utiliza la misma tarjeta en el *gateway* como en el nodo, simplificando el sistema.

Se emplea un *socket* Bee para la instalación del módulo de comunicación adicional necesario para la comunicación entre los elementos de la WSN. El acondicionamiento de los sensores de humedad se lo realiza mediante un divisor de voltaje. Sin embargo, el pluviómetro se configura mediante un circuito *Pull Up* para la medición a través de interrupciones. Además, para el módulo GPS se utiliza un conector de 5 pines machos para su alimentación y la lectura serial, utilizando el cable DF13 a *jumper wire* (véase Figura 3.4.10 a Figura 3.4.11 y ANEXOS, ANEXO A). Para la interconexión de la tarjeta con los módulos de procesamiento se utilizan conectores terminales, a través de un circuito interruptor se puede encender y apagar el módulo GPS para ahorrar energía.

Tabla 3.4.8. Especificaciones técnicas del módulo XBee-PRO 900.

Parámetro	Especificación	Unidad
Dimensiones	2.438 x 9.294	cm
Voltaje de operación	3.0 a 3.6	V
Corriente de Tx	210	mA
Corriente de Rx	80	mA
Corriente modo Sleep	48	μ A
Rango Indoor/Urbano	140	m
Rango Outdoor (línea de vista)	3 a 10	km
Potencia de transmisión	+17	dBm
Interface Data Rate	Mayor a 230	kbps
RF Data Rate	156.25	kbps
Sensibilidad de recepción	-100	dBm
Banda de frecuencia	902 a 928	MHz
Rango de funcionamiento	-40 a 85	$^{\circ}$ C
Tipos de antena	wire antena 1/4 onda, conector RF RPSMA, conector RF U.FL	
I/O Digital	13 líneas	
ADC	6 de 10-bits entradas analógicas	
Topologías de red soportadas	PPP, P2M, P2P	
Número de canales	8 patrones de salto en 12 canales 4 patrones de salto en 5 canales	
Encriptación	128 bit AES	

Fuente: Véase [30].
Elaboración: Los Autores.

Tabla 3.4.9. Configuración de los módulos XBee-PRO 900.

Parámetro	Gateway	Nodo	Unidad
ID Network	2017	2017	
CE Coordinator Enable	Standard Node	End Device	
DH Destination Address High	0	SH Gateway	
DL Destination Address Low	FFFF	SL Gateway	
NI Node Identifier	Coordinador	Nodo1	
BD Baud Rate	4800	4800	bps
AP API Enable	Transparent Mode	Transparent Mode	

Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.

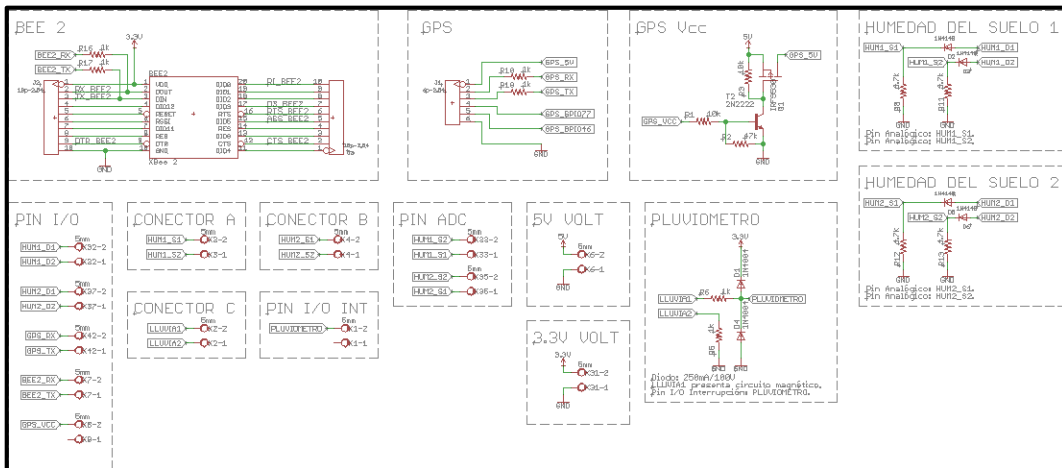


Figura 3.4.10. Diagrama esquemático de la tarjeta diseñada.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

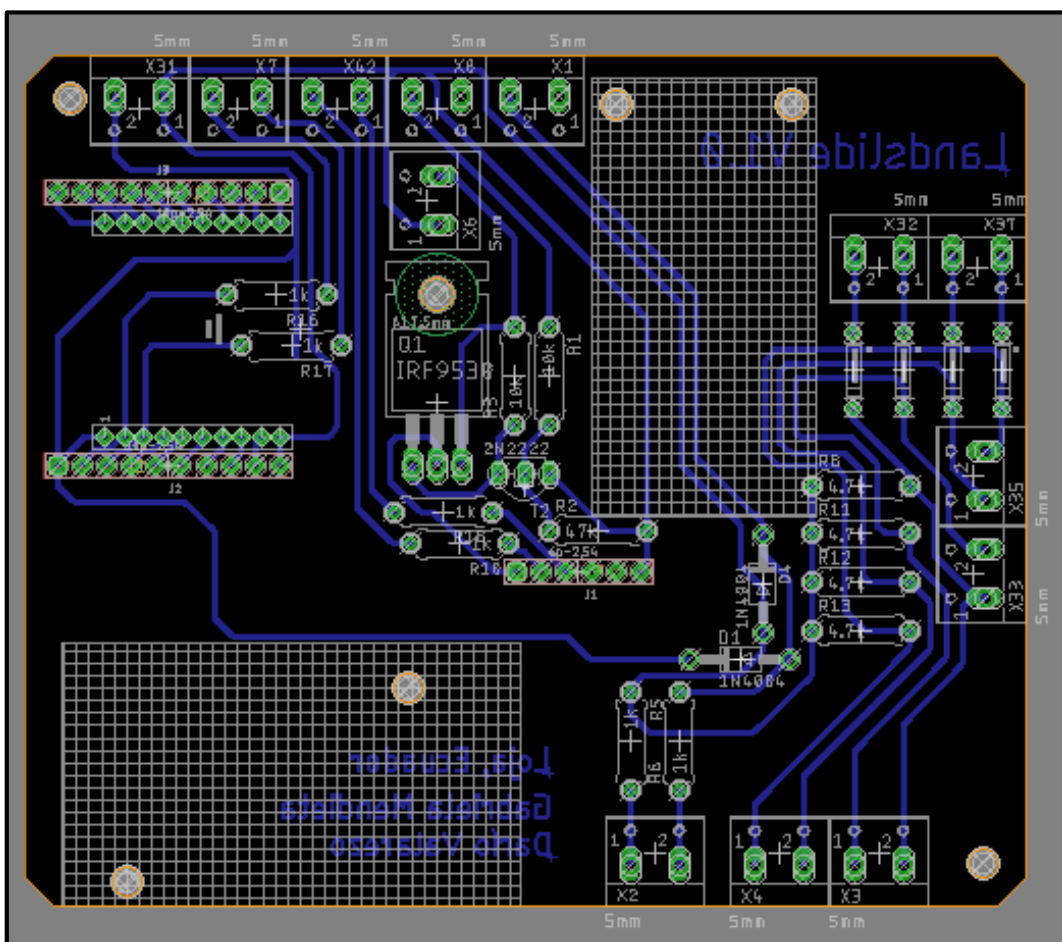


Figura 3.4.11. Pista de la tarjeta diseñada.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

Además, la tarjeta cuenta con dos fuentes de alimentación, una para el circuito en general (3.3V) y la otra necesaria para el funcionamiento del GPS (5V), el cual se puede conectar directamente o utilizar un módulo para la conversión del voltaje el mismo que puede ser instalado en su correspondiente espacio (véase Figura 3.4.12).

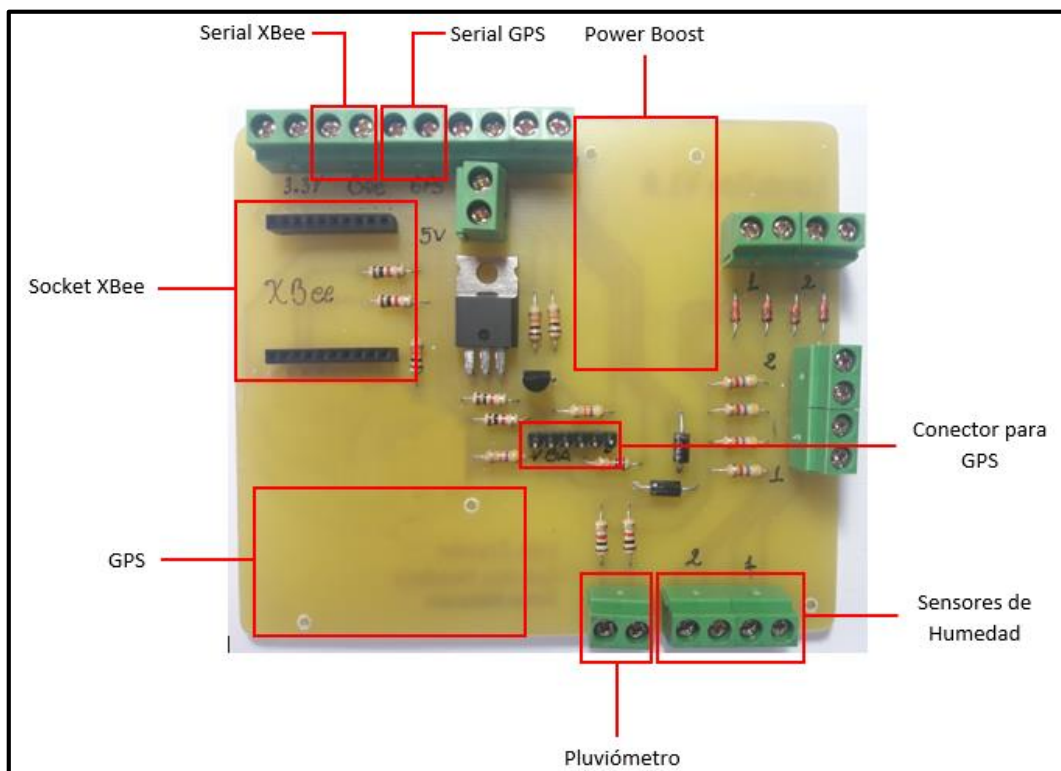


Figura 3.4.12. Descripción de cada elemento de la tarjeta diseñada.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

3.4.6. Algoritmo de funcionamiento.

Se desarrollan cada uno de los algoritmos en el lenguaje de programación C++, utilizando el bootloader de Arduino. Para ello se generan algoritmos simple y eficaz por cada elemento del sistema según los requerimientos establecidos (véase Sección 3.2), es decir, uno para el *gateway* y otro para los nodos, ya que cada uno realiza funciones específicas.

Se divide el algoritmo de funcionamiento para cada elemento del sistema, en un algoritmo principal y en funciones o subrutinas secundarias para realizar aplicaciones específicas. Cada elemento realiza varios procesos como: adquisición, almacenamiento y transmisión de los datos, de manera continua y sin ninguna interrupción.

3.4.6.1. Diagrama de flujo del gateway.

En el gateway se ejecutan diferentes métodos en forma secuencial (véase Figura 3.4.13 y ANEXOS, ANEXO B). Previamente, se instauran las librerías, variables y configuraciones iniciales. A través del GPRS se sincroniza el RTC para el almacenamiento y envío de la información. También, se realizan mediciones con el pluviómetro mediante el uso de interrupciones, sin embargo el nivel de batería se mide de manera periódica cada 60 segundos realizándose un promedio ponderado. Cada día a las 11H00, dicha hora se elige debido a la presencia de luz natural, se enciende el módulo *Reach RTK GNSS* por un lapso

de 15 minutos debido a su consumo energético, para actuar como estación base para empezar la correlación con el nodo; además, se captura y almacena una imagen del sitio de emplazamiento. También, a través del intercambio de información con los nodos, se almacena en una memoria MicroSD las variables enviadas por cada nodo y obtenidas en el *gateway*, posteriormente las mismas son enviadas cada hora a la plataforma IoT. Estos procesos se realizan de forma continua hasta reiniciar el programa o apagar el equipo.

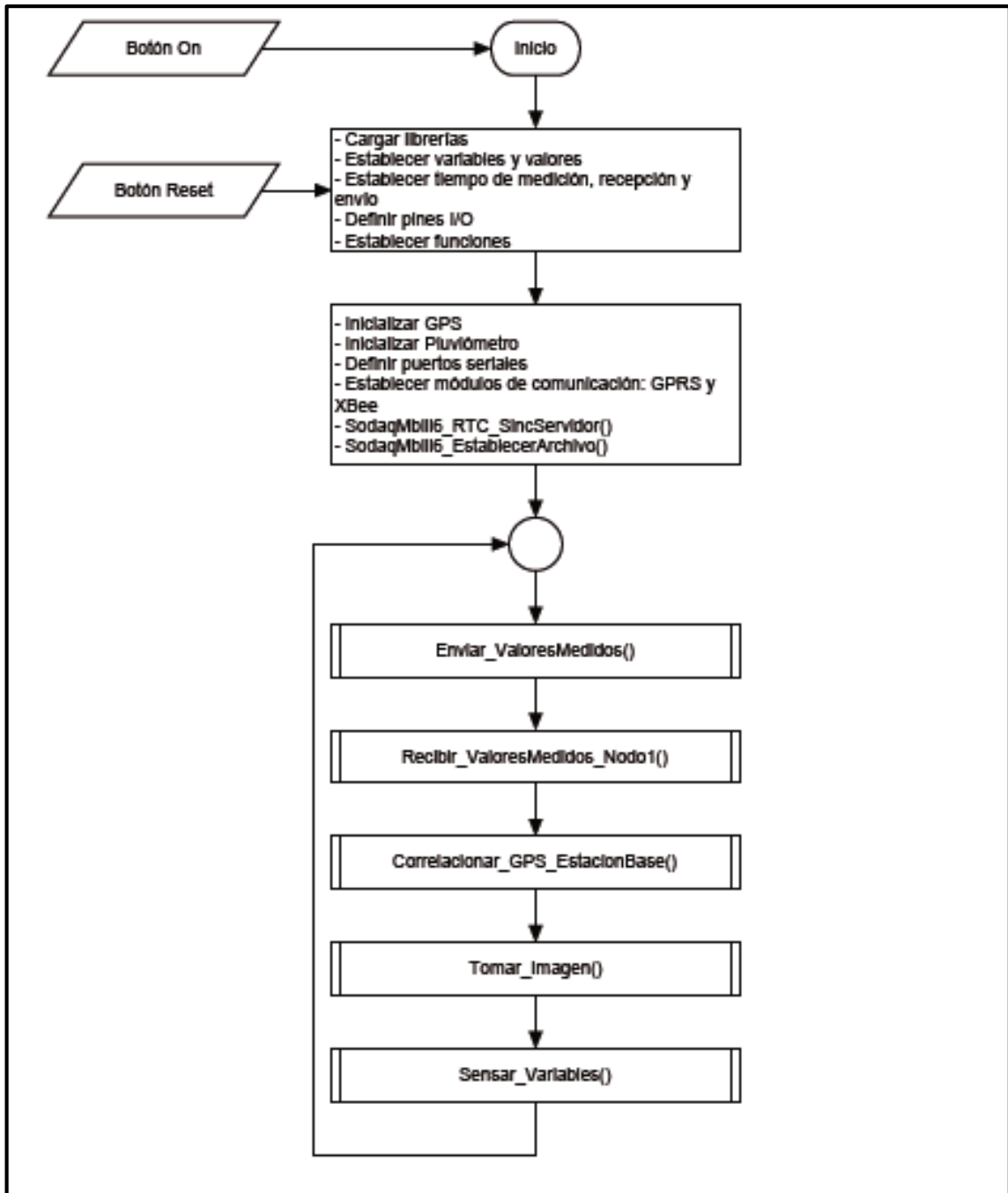


Figura 3.4.13. Diagrama de flujo del gateway.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

3.4.6.2. Diagrama de flujo del nodo.

Cada nodo ejecuta diferentes procesos en forma secuencial (véase Figura 3.4.14 y ANEXOS, ANEXO C). Primeramente, se establecen las librerías, variables y configuraciones iniciales. Mediante la utilización del RTC, se realizan mediciones periódicas cada 60 segundos, por cada uno de los sensores instalados y configurados en su plataforma. De igual manera a las 11H00 se enciende el módulo Reach RTK GNSS por un tiempo de 15 minutos, con el fin de ahorrar energía debido a su alto consumo energético y aprovechar la radiación solar presente al medio día para recargar la batería mediante el panel solar, obteniendo las coordenadas del punto de instalación del nodo. Además, a través del mismo proceso de sincronismo se realiza el promedio ponderado de los valores medidos y se envía cada hora dicha información al *gateway* como elemento coordinador de la WSN. Estos procesos los realiza de forma continua hasta reiniciar el programa o apagar el equipo.

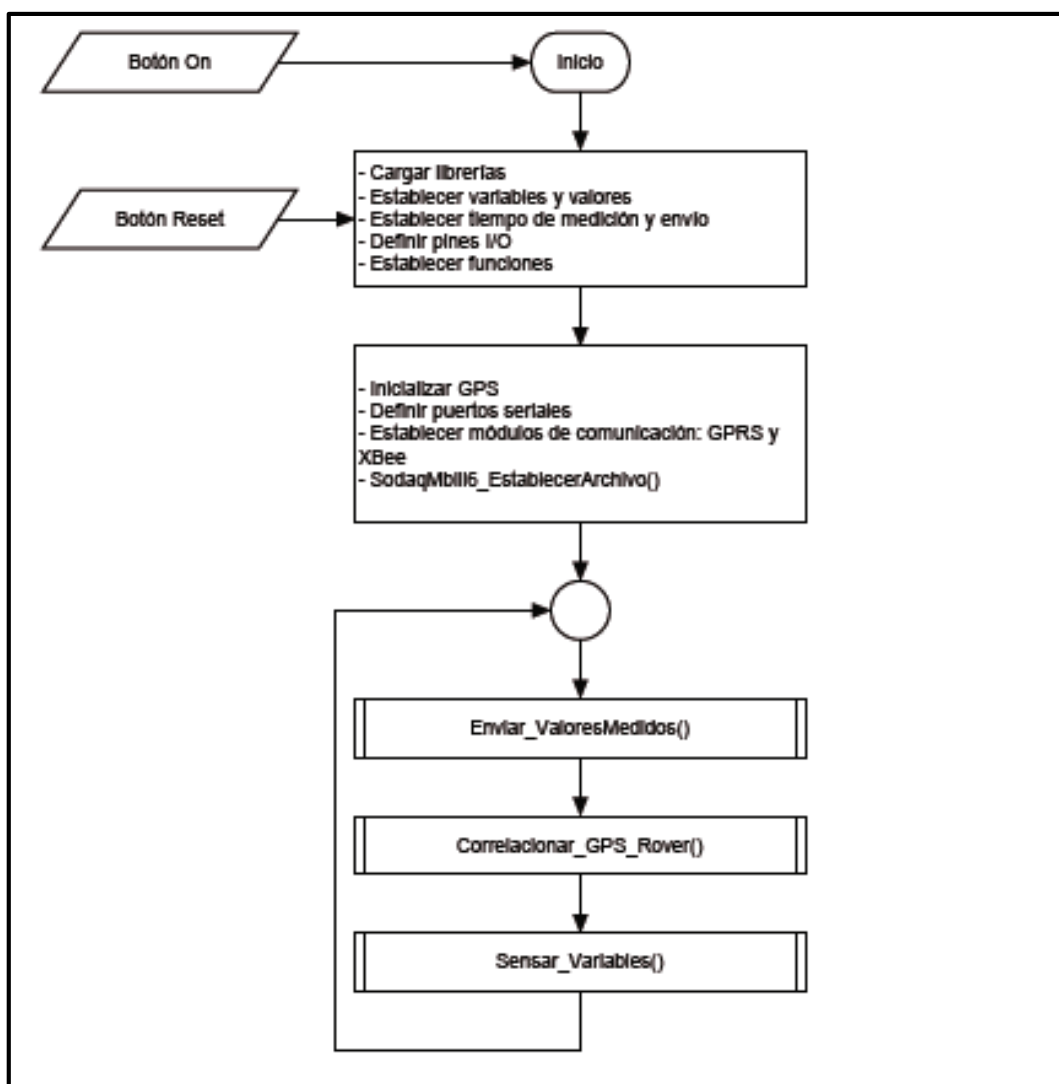


Figura 3.4.14. Diagrama de flujo del nodo.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

3.4.6.3. Diagrama de flujo de las funciones específicas.

Se describe la operación realizada por cada una de las diferentes funciones generadas para la ejecución de distintos métodos en los algoritmos generales de cada elemento (véase Tabla 3.4.10 y ANEXOS, ANEXO D).

Tabla 3.4.10. Especificación de cada subrutina empleada en cada elemento.

Función específica	Operación que realiza
SodaqMbili6_RTC_SincServidor()	Actualizar el RTC utilizando el GPRS.
SodaqMbili6_EstablecerArchivo()	Crear archivos <i>.txt</i> en las MicroSD cards para almacenar respaldos de la información obtenida.
Enviar_ValoresMedidos()	Transmitir: los valores obtenidos en cada elemento del sistema, la información a internet y la información al <i>gateway</i> para almacenarla.
Recibir_ValoresMedidos_Nodo1()	Recibir los valores transmitidos por el nodo.
Correlacionar_GPS_EstacionBase() Correlacionar_GPS_Rover()	Obtener las coordenadas de la posición y apagar los módulos Reach RTK GNSS en cada elemento.
Tomar_Imagen()	Tomar una fotografía diaria del sector afectado.
Sensor_Variables()	Medir cada una de las variables y parámetros a través de los sensores.
Promediar_ValoresMedidos()	Promediar las variables cada hora para su posterior envío al servidor.
SodaqMbili6_Almacenar_3V() SodaqMbili6_Almacenar_6V()	Almacenar las variables promediadas en su correspondiente archivo <i>.txt</i> en las MicroSD cards.
ThingSpeakPOSTMbili6_TramaURLEncode_3V() ThingSpeakPOSTMbili6_TramaURLEncode_6V()	Postear la información mediante la activación del GPRS en el servidor para su almacenamiento en Internet.
DavisWeatherMeter_INT_FALLING_LluvialN()	Medir la cantidad de lluvia mediante el uso de interrupciones.
SodaqMbili6_voltajeBateriaF()	Adquirir el nivel del voltaje de la batería conectada a cada elemento.
SodaqMbili6_voltajePanelF()	Obtener el nivel del voltaje que entrega el panel solar conectado a cada elemento.
IrrrometerWatermark200SSMbili6_S1Humedad() IrrrometerWatermark200SSMbili6_S2Humedad()	Determinar el nivel de humedad en kPa.
DIGIXBee09PMbili6_Codificar_6V()	Codificar las tramas a enviarse mediante XBee-PRO 900.

DIGIXBeeMbili6_TX_Trama() DIGIXBeeMbili6_RX_Trama()	Transmitir y recibir la trama enviada por cada nodo hacia el <i>gateway</i> .
SodaqMbili6_RTC_Leer_Horas() SodaqMbili6_RTC_Leer_Minutos() SodaqMbili6_RTC_Leer_Segundos()	Determinar la hora, minuto y segundo exacto mediante lectura del RTC.
SodaqMbili6_RTC_Horas() SodaqMbili6_RTC_Minutos() SodaqMbili6_RTC_Segundos()	Leer las horas, minutos y segundos utilizando el RTC en tiempo real comparándolo con un período de horas, minutos y segundos establecidos.
SodaqMbili6_RTC_Leer_F SodaqMbili6_RTC_Leer_FS2() S1()	Adquirir la hora, fecha y día de la semana mediante el RTC.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

CAPÍTULO IV
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

4.1. Introducción.

En el presente capítulo, se indica el proceso de integración e implementación de cada uno de los elementos del sistema: adecuación, instalación de estructuras y equipos, incluyéndose la correspondiente calibración de cada elemento en la zona de emplazamiento establecida. También, se calcula el consumo energético de cada elemento que conforma el sistema propuesto para el dimensionamiento eficiente de las fuentes de energía, las pruebas del funcionamiento del sistema y el envío de la información a la plataforma IoT.

4.2. Integración de los elementos de la WSN.

Dadas las condiciones hostiles de la zona de emplazamiento, se emplean cajas estancas IP67 para adecuar los componentes del *gateway* y el nodo individualmente, la cual presenta resistencia al agua, polvo y radiación UV [66]; además, se emplearon conectores IP68 para el acoplamiento de los diferentes sensores de cada elemento.

4.2.1. Integración del Gateway.

Para la adecuación del *gateway* se instalaron los diversos equipos de forma sistemática empleando: Raspberry Pi, Cámara NoIR, Mbili, XBee-PRO 900, GPRSbee, módulo *Reach RTK GNSS* y la placa de acoplamiento diseñada (véase Figura 4.2.1 y Figura 4.2.2).



Figura 4.2.1. Integración del *gateway*.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

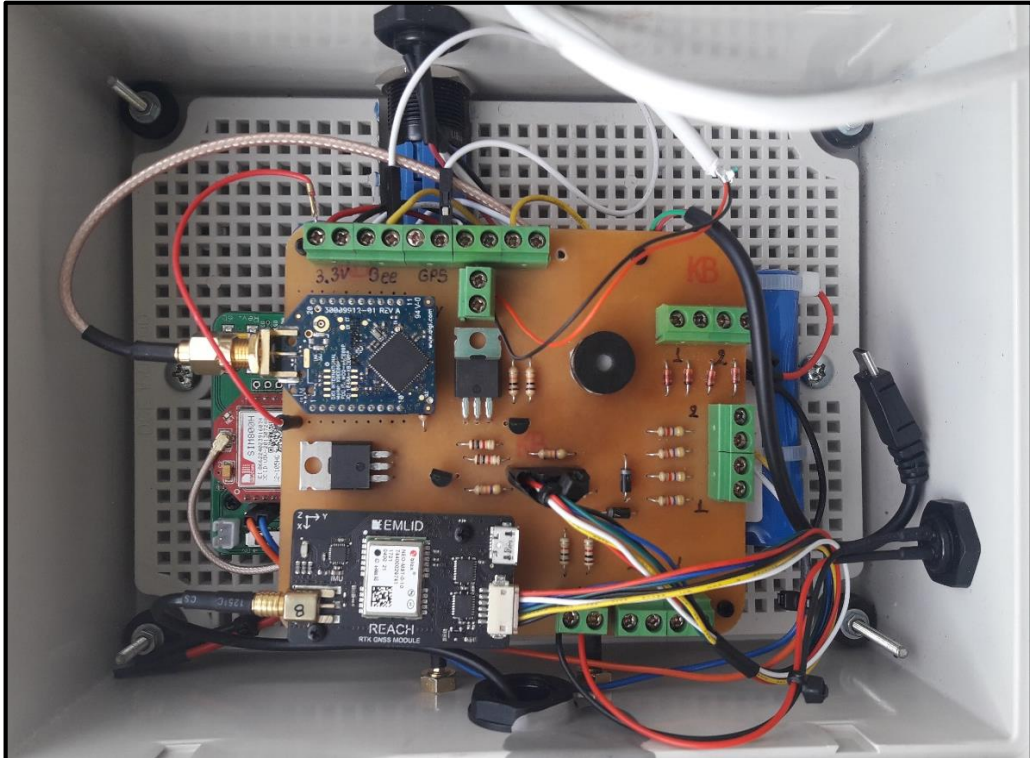


Figura 4.2.2. Integración del *gateway*, vista interna.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.



Figura 4.2.3. Integración del *nodo*.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.

4.2.2. Integración del Nodo.

Para la constitución del nodo fueron adecuados los equipos seleccionados: XBee-PRO 900, módulo *Reach RTK GNSS*, PowerBoost y la placa de acoplamiento diseñada (véase Figura 4.2.3 y Figura 4.2.4).

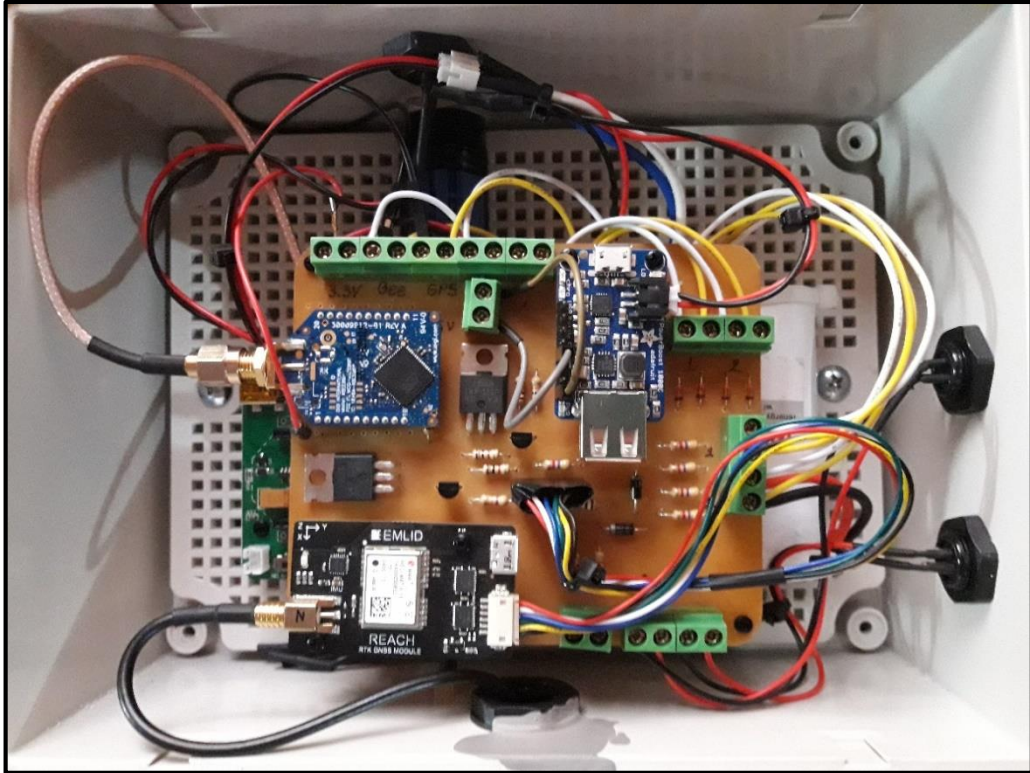


Figura 4.2.4. Integración del nodo, vista interna.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

4.3. Consumo energético

Mediante el uso del equipo KEYSIGHT E3620A [67] como fuente de poder de 3.7V y del multímetro digital KEYSIGHT 34461A [68] para medir el consumo eléctrico de cada elemento de la WSN, se obtiene el nivel de consumo energético de cada elemento de la WSN.

4.3.1. Nivel de consumo de corriente del Gateway.

Realizada la correspondiente medición en el *gateway*, se puede determinar que este posee un elevado consumo energético (véase Figura 4.3.1 a Figura 4.3.2) debido a los módulos que constituyen el mismo como Raspberry Pi, GPRSbee y el módulo *Reach RTK GNSS* los cuales necesitan un mínimo de corriente para inicializarse (véase Tabla 2.5.1 y Tabla 3.4.7); por lo cual se utiliza el sistema de abastecimiento eléctrico de la casa en la que se ha instalado.

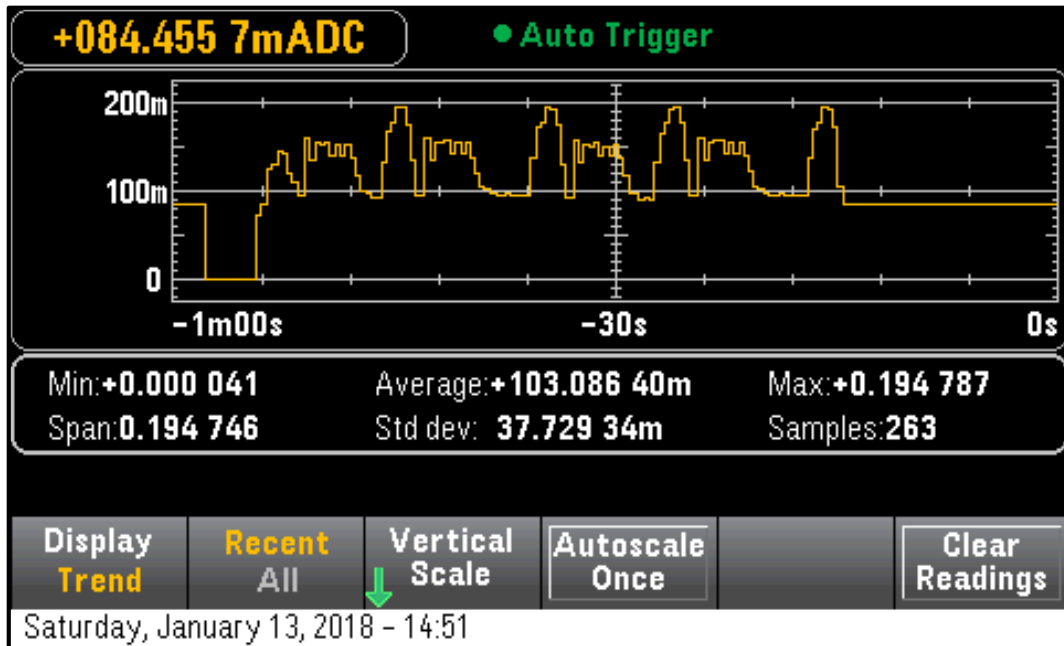


Figura 4.3.1. Nivel de consumo de corriente de la tarjeta Mbili, guardar la información en la plataforma mediante GPRS.

Fuente: [68].

Elaboración: Los Autores.

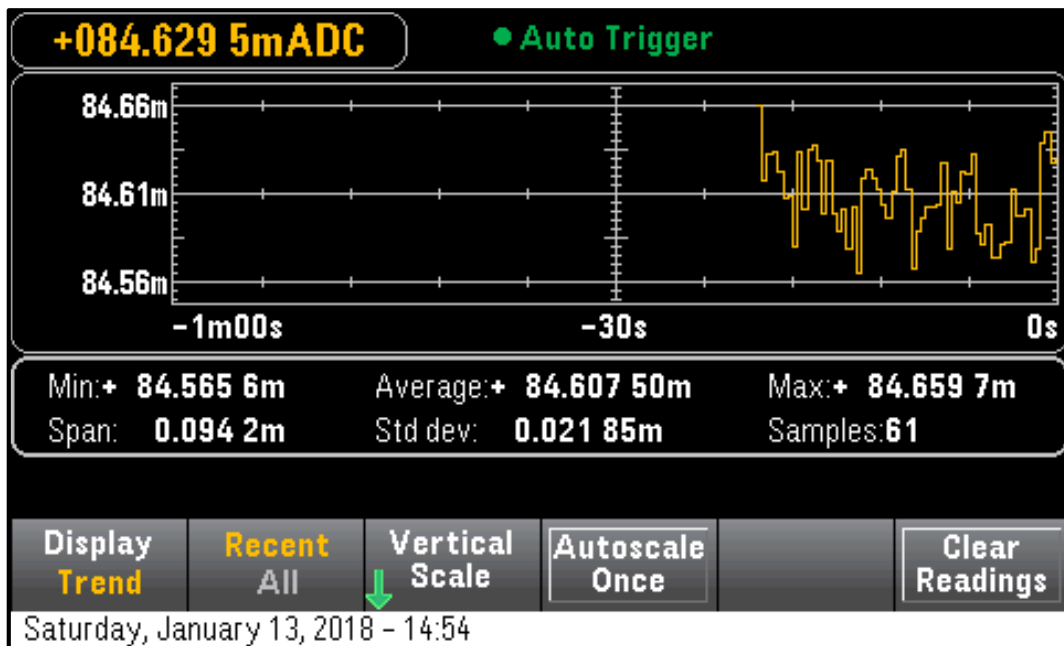


Figura 4.3.2. Nivel de consumo de corriente de la tarjeta Mbili, adquisición de las variables.

Fuente: [68].

Elaboración: Los Autores.

4.3.2. Nivel de consumo de corriente del Nodo.

El consumo energético del nodo está limitado por su batería y por la corriente de carga del panel solar que depende de la radiación solar sobre el mismo; además, se presenta un considerable consumo de corriente cuando se enciende el módulo *Reach RTK GNSS*,

(véase Figura 4.3.3 a Figura 4.3.4) para efectuar la correlación y obtener las coordenadas del mismo (véase Tabla 4.3.2).

Tabla 4.3.1. Requerimiento de consumo energético del *gateway*.

	Nivel de consumo de corriente (mA)	Tiempo (h)	Potencia (mW)	Potencia por hora (mWh)	Potencia diaria (Wh/día)
Raspberry Pi	1000	1	3700	3700	88.8
Cámara NoIR	250	0.0028	925	2.59	0.062
Conexión GPRS	103.09	0.0083	381.43	3.17	0.076
Adquisición y Transmisión	84.61	1	313.06	313.06	7.51
Correlación con el <i>rover</i>	221.61	0.25	819.96	204.99	4.92
Total					101.37

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

Tabla 4.3.2. Requerimiento de consumo energético para el nodo.

	Nivel de consumo de corriente (mA)	Tiempo (h)	Potencia (mW)	Potencia por hora (mWh)	Potencia diaria (Wh/día)
Adquisición y Transmisión	98.10	1	362.97	362.97	8.71
Correlación a estación base	221.61	0.25	819.96	204.99	4.92
Total					13.63

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los Autores.

Asumiendo una eficiencia del 95% en el regulador XC6200 de la placa empleada, se calcula el consumo diario de potencia.

$$E_d = \frac{P_d}{\eta_{reg}} \quad (4)$$

Dónde:

E_d : Consumo diario de potencia, en Wh/día.

P_d : Requerimiento diario de potencia del equipo, en Wh/día.

η_{reg} : Eficiencia del regulador.

$$E_d = \frac{13.63 \text{ Wh/día}}{0.95}$$

$$E_d = 14.35 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

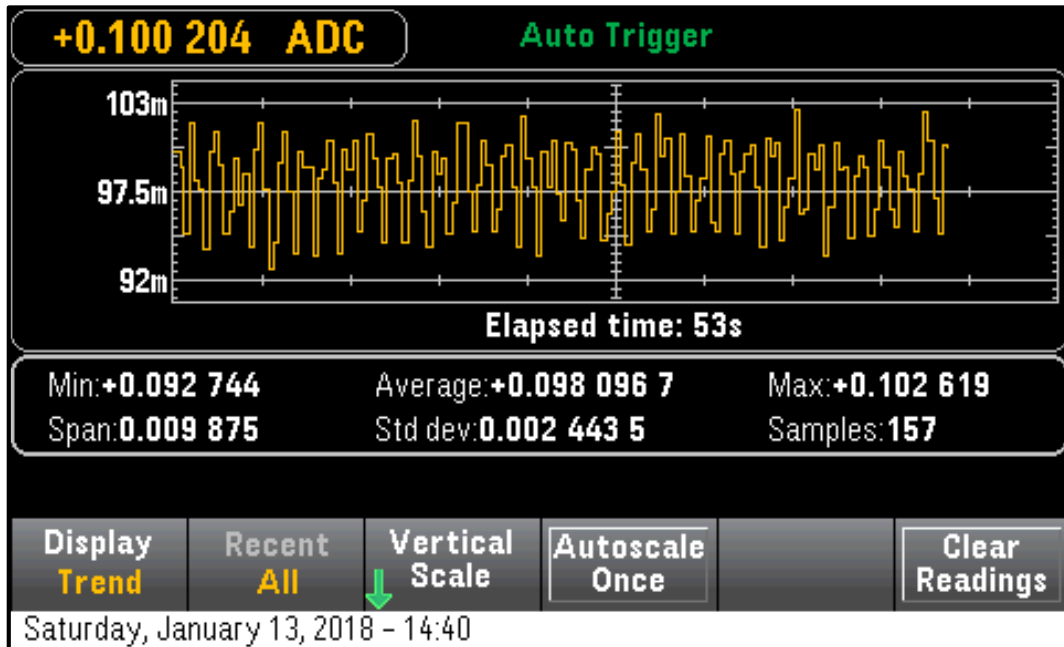


Figura 4.3.3. Nivel de consumo de corriente del nodo en la adquisición y transmisión de la información.

Fuente: [68].

Elaboración: Los Autores.

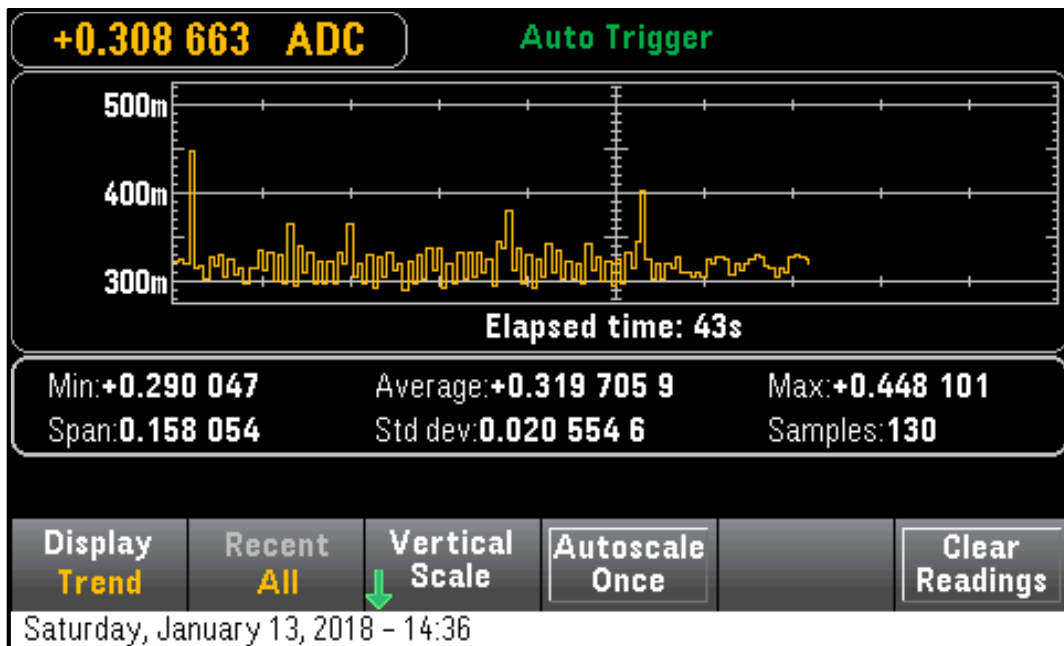


Figura 4.3.4. Nivel de consumo de corriente del nodo cuando se realiza la correlación del GPS y adquisición de datos.

Fuente: [68].

Elaboración: Los Autores.

Se necesita que el nodo posea una autonomía de dos días, por lo cual se emplea una batería comercial tipo LiPo de 3.7V/6600mAh de tres celdas que cumpla con dicho requerimiento (véase Tabla 4.3.3), cuya potencia es de 24.42Wh.

Tabla 4.3.3. Características de la batería tipo LiPo.

Parámetro	Especificación	Unidad
Capacidad nominal	6600	mAh
Voltaje nominal	3.7	V
Voltaje de carga	4.2	V
Voltaje de descarga	3.0	V
Potencia (1 celda)	8140	mWh
Potencia (3 celdas)	24420	mWh
Tiempo estimado de carga	4.0	H
Voltaje máximo de carga	4.2	V
Corriente de carga	0.5	A
Rango de funcionamiento	Carga: 0 a 45 Descarga: -20 a 70	°C

Fuente: [69].

Elaboración: Los Autores.

En el dimensionamiento del panel solar se consideran los siguientes aspectos: nivel de insolación difusa solar anual en la provincia de Loja (véase Figura 4.4.1), el requerimiento de consumo de potencia para cargar la batería tipo LiPo y las especificaciones técnicas del chip de control de carga ubicado en la Mbili. En la zona de emplazamiento el nivel de insolación difusa solar anual es de 2400Wh/m2/día [70]. Tomando en consideración que el tiempo estimado de carga de la batería es de cuatro horas se obtuvo que es necesario un panel solar comercial de 3.5W (véase Tabla 4.3.4 y Ecuación (5) a Ecuación (9)), cuya inclinación óptima es de 15°.

$$P_{cb} = V_c C_c \quad (5)$$

Donde:

P_{cb} : Potencia de carga de la batería, en W.

V_c : Voltaje de carga de la batería, en V.

C_c : Corriente de carga de la batería, en A.

$$P_{cb} = 4.2V (0.5A)$$

$$P_{cb} = 2.1W$$

$$C_{td} = P_{cb} t \quad (6)$$

Donde:

C_{td} : Carga total diaria, en Wh/día.

t : Tiempo de consumo diario, en h/día

$$C_{td} = 2.1W \left(\frac{4h}{día} \right)$$

$$C_{td} = 8.4 \frac{Wh}{día}$$

$$C_{dc} = \frac{C_{td}}{V_c} \quad (7)$$

Donde:

C_{dc} : Carga diaria de corriente, en Ah/día.

$$C_{dc} = \frac{8.4 \frac{Wh}{día}}{4.2V}$$

$$C_{dc} = \frac{2Ah}{día}$$

$$C_{ps} = \frac{C_{dc}}{R_s} \quad (8)$$

Donde:

C_{ps} : Corriente pico del sistema, en Ah.

R_s : Radiación solar anual, en Wh/m²/día.

$$C_{ps} = \frac{\frac{2Ah}{día}}{\frac{2.4kWh}{\frac{m^2}{día}}}$$

$$C_{ps} = 0.833 \text{ Ah}$$

$$N_p = \frac{C_{ps}}{C_{pp}} \quad (9)$$

Donde:

N_p : Número de paneles.

C_{pp} : Corriente pico del panel, en Ah.

$$N_p = \frac{0.833 \text{ Ah}}{0.930 \text{ Ah}}$$

$$N_p = 0.89 \text{ panel} \approx 1 \text{ panel}$$

Tabla 4.3.4. Características del panel solar.

Parámetro	Especificación	Unidad
Potencia	6	W
Eficiencia de celdas	19	%
Voltaje en circuito abierto	7.0	V
Voltaje pico	6.0	V
Corriente pico	930	mA
Potencia pico	6.15	W
Resistencia	UV	
Dimensiones	220 x 175 x 5	mm

Fuente: [71].

Elaboración: Los Autores.

4.4. Pruebas de validación del prototipo.

Para probar el funcionamiento y precisión de los elementos diseñados, se realizaron varias mediciones en los hitos ubicados en diferentes puntos en el Campus de la UTPL por parte del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil utilizando el Sistema Geodésico Mundial WGS84 [72]. Se utilizaron como referencia los Puntos 5 y 6 que conforman la red topográfica de la UTPL con línea de vista entre ellos (véase Tabla 4.4.1 y Tabla 4.4.2), donde el Punto 6 sirvió como coordenada fija para la estación base (véase Figura 4.4.2) y el Punto 5 como coordenada de referencia para el rover (véase Figura 4.4.3).

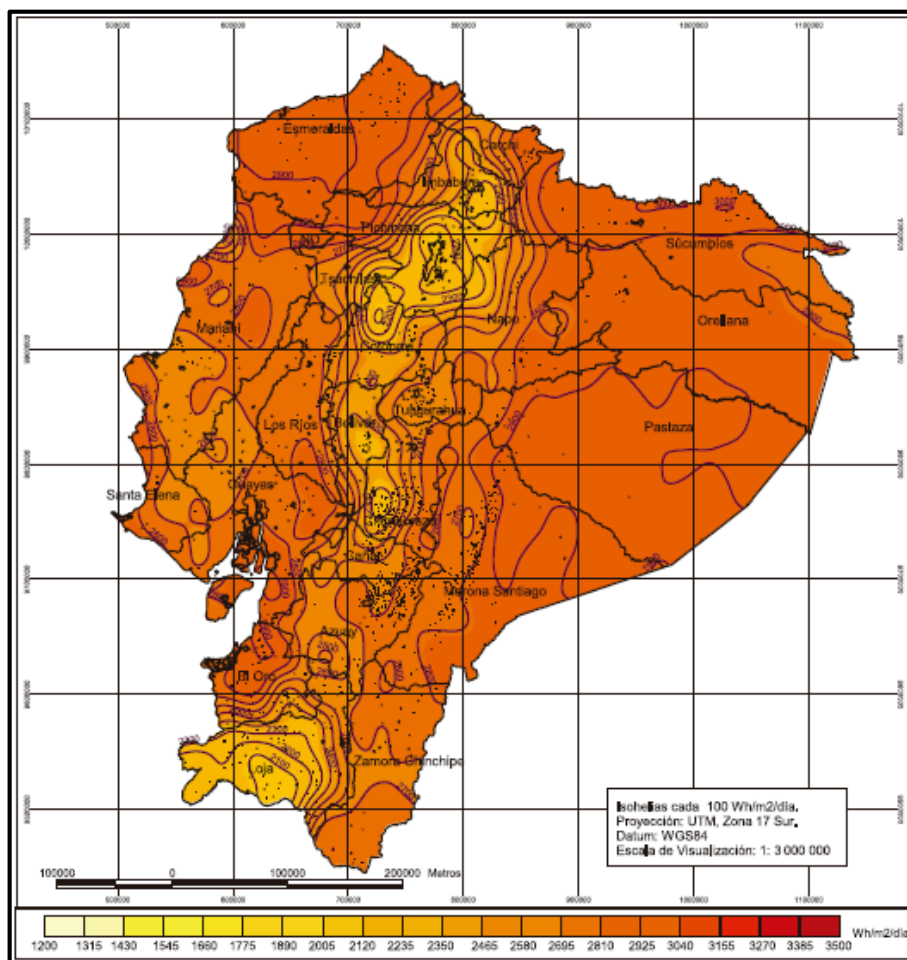


Figura 4.4.1. Insolación difusa promedio anual en el Ecuador.

Fuente: [70].

Elaboración: Los Autores.

Tabla 4.4.1. Ubicación del Punto 5.

Global (Grados, Minutos y Segundos)		Global (Decimal)		Coordenadas Cartesianas	
Latitud	S3°59'10.39647"	Latitud	-3.9862212	X (m)	1192966.2673111
Longitud	079°11'50.34879"	Longitud	-79.1973191	Y (m)	-6252158.80178346
Altura (m)	2150.765	Altura (m)	2150.765	Z (m)	-440574.662809625

Fuente: [72].

Elaboración: Los Autores.

Tabla 4.4.2. Ubicación del Punto 6.

Global (Grados, Minutos y Segundos)		Global (Decimal)		Coordenadas Cartesianas	
Latitud	S3°59'16.91957"	Latitud	-3.9880332	X (m)	1192960.37475103
Longitud	079°11'50.51092"	Longitud	-79.1973641	Y (m)	-6252154.59153856
Altura (m)	2159.483	Altura (m)	2159.483	Z (m)	-440775.222342832

Fuente: [72].

Elaboración: Los Autores.



Figura 4.4.2. Colocación del gateway en el Punto 6.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.



Figura 4.4.3. Colocación del nodo en el Punto 5.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

Cabe mencionar que los elementos fueron instalados sobre una infraestructura móvil y las antenas del GPS se ubicaron a 1.9 metros del suelo. Además, se realizó la medición de forma instantánea en el Punto 5 (véase Tabla 4.4.3) en un período de 30 minutos. Al determinar la variación entre la medición de la red topográfica de la UTPL y la medida con el módulo *Reach RTK GNSS*, se obtuvo una variación de $\Delta_x= 2.49\text{m}$, $\Delta_y= 4.74\text{m}$ y $\Delta_z= 1.94\text{m}$ (véase Tabla 4.4.4). La diferencia entre los puntos se debe a las condiciones de medición, además del tiempo de medición.

Tabla 4.4.3. Ubicación medida en el Punto 5 con el módulo *Reach RTK GNSS*.

Global (Grados, Minutos y Segundos)		Global (Decimal)		Coordenadas Cartesianas	
Latitud	S3°59'10.32"	Latitud	-3.98620048	X (m)	1192968.7618256
Longitud	079°11'50.298"	Longitud	-79.1973050	Y (m)	-6252163.54762511
Altura (m)	2155.747	Altura (m)	2155.747	Z (m)	-440572.722696182

Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.

Tabla 4.4.4. Diferencia entre la red topográfica de la UTPL y el valor medido con el módulo *Reach RTK GNSS* en el Punto 5.

	Coordenadas Cartesianas		Diferencia
	Punto 5 UTPL	Punto 5 GPS Reach	
X (m)	1192966.2673111	1192968.7618256	2.4945145
Y (m)	-6252158.80178346	-6252163.54762511	4.745841649
Z (m)	-440574.662809625	-440572.722696182	1.9400113443

Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.

4.5. Envío de información a la plataforma IoT.

Para la visualización remota de la información censada en los diferentes terminales de los usuarios, se utiliza la plataforma ThingSpeak (véase Sección 2.6.2), enviándose los datos mediante el empleo del módulo GPRSbee.

Se crearon canales independientes, uno para almacenar las variables del *gateway* (véase Figura 4.5.1) y otro para acumular los datos del nodo (véase Figura 4.5.2).

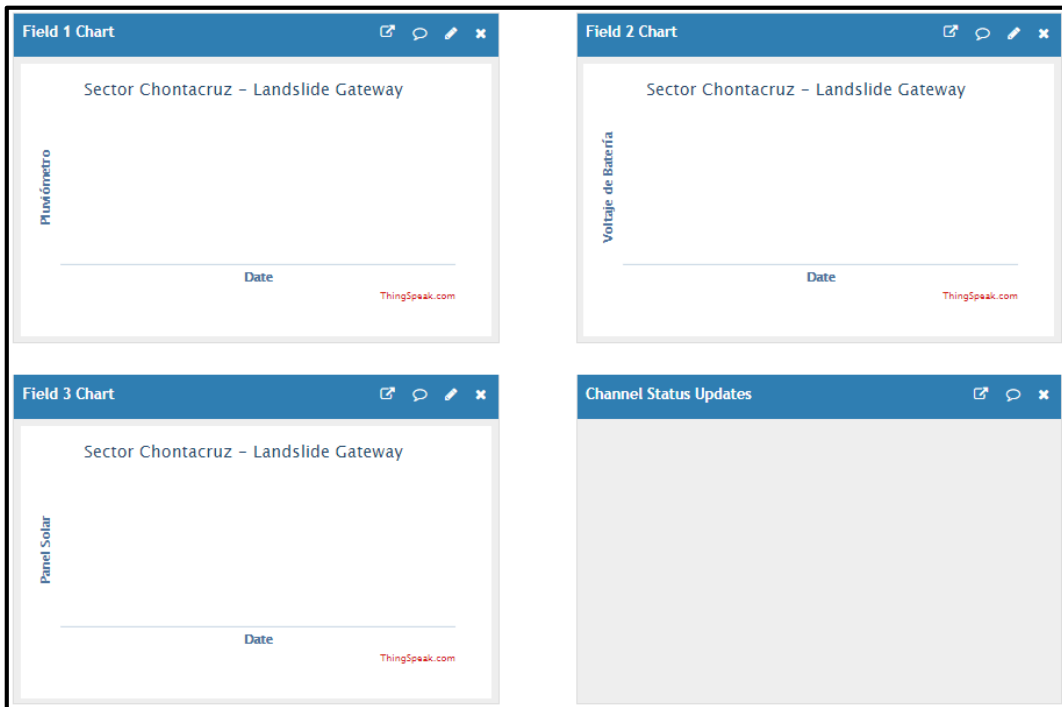
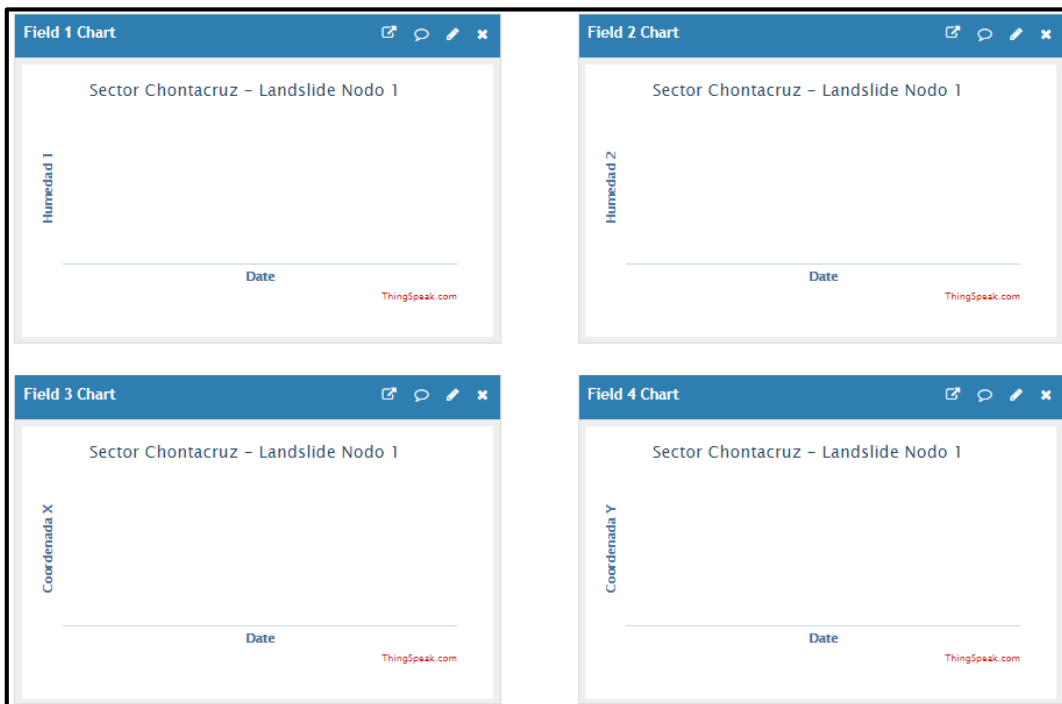
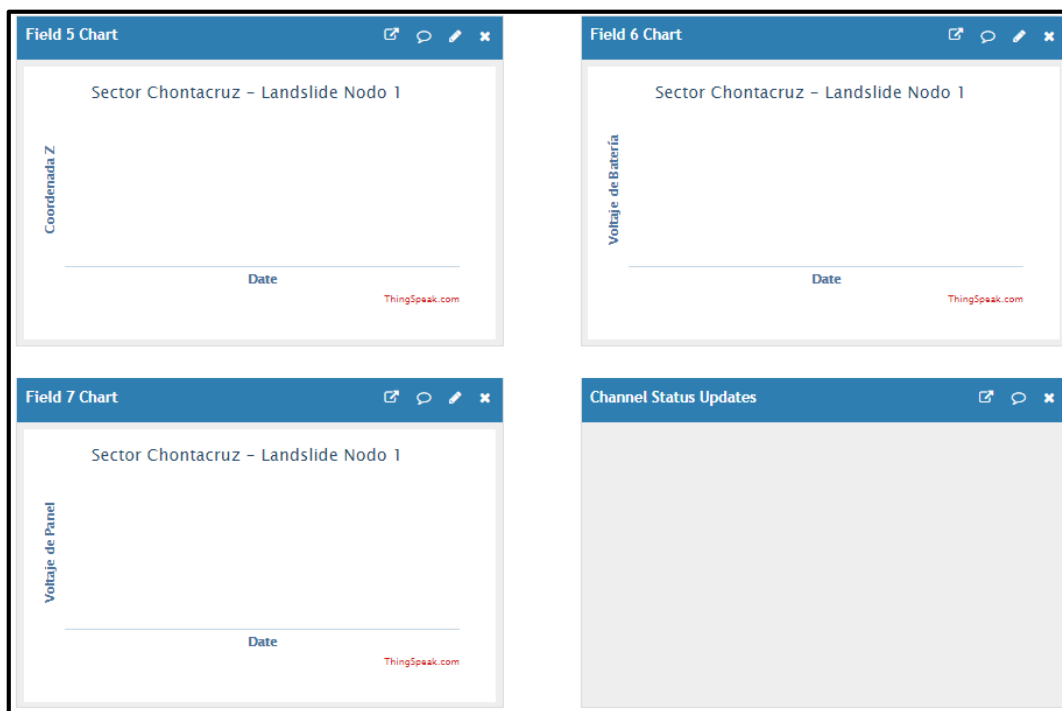


Figura 4.5.1. Visualización del canal del *gateway*.
Fuente: Véase [37].
Elaboración: Los Autores.



(a) Primeras 4 variables.



(b) Últimas 4 variables.

Figura 4.5.2. Visualización del canal del nodo.

Fuente: Véase [37].

Elaboración: Los Autores.

4.6. Implementación en el área de estudio.

En la instalación de la WSN en la zona emplazamiento se identifica la necesidad de adecuar la misma para la instalación y calibración del *gateway* y el nodo.

4.6.1. Adecuación de la zona de emplazamiento.

Para adecuar los diferentes elementos en la zona de emplazamiento, se necesitaron dos estructuras rígidas conformadas por tubo galvanizado y hierro para poder instalar el *gateway* y el nodo independientemente. Para el *gateway* se instala una estructura en la losa de una casa ubicada frente a la zona afectada (véase Figura 4.6.1 a Figura 4.6.3); sin embargo, para el caso del nodo se necesita de la misma estructura adicional con un punto de referencia para poder validar la información obtenida por el GPS (véase Figura 4.6.4 a Figura 4.6.8).



Figura 4.6.1. Estructura instalada para el *gateway*, vista desde la vía de integración barrial.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los autores.



Figura 4.6.2. Instalación de la estructura para el *gateway* en la losa de una casa ubicada frente al terreno afectado, vista frontal.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los autores.



Figura 4.6.3. Instalación de una estructura para el gateway en la losa de una casa ubicada frente al terreno afectado, vista posterior.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los autores.



Figura 4.6.4. Excavación de un hoyo de 1.20m de profundidad para la instalación de la estructura para el nodo.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los autores.



Figura 4.6.5. Acoplamiento de una varilla en paralelo a la estructura del nodo para la medición del punto de georreferenciación.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los autores.



Figura 4.6.6. Adecuación de la base de hormigón armado para sujetar la estructura del nodo.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los autores.



Figura 4.6.7. Fundición de la estructura con hormigón armado.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los autores.



Figura 4.6.8. Estructura para el nodo adecuada en el punto del terreno correspondiente.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los autores.

4.6.2. Instalación del sistema.

Una vez adecuada la zona de emplazamiento y ubicadas las estructuras necesarias para el *gateway* y nodo se instalan los respectivos elementos que conforman la red WSN.

4.6.2.1. *Instalación del Gateway.*

En la instalación del *gateway* se inicia ubicando la caja estanca en la estructura correspondiente en cuyo interior se encuentran adecuados los equipos que conforman el mismo. Una vez fijada la caja estanca en la estructura se realizan las pruebas de enfoque con el módulo de la cámara de Raspberry Pi. Posteriormente se adecúa en la parte más alta de la estructura el pluviómetro siendo éste el único sensor que posee el *gateway* (véase Figura 4.6.9 y Figura 4.6.10).

Para la correlación entre la estación base y el *rover* es necesaria la medición de la coordenada de georreferencia para la estación base; la cual se calcula con el mismo GPS mediante la opción de promediar su posición de forma manual, en un lapso de tiempo de 30 minutos almacenándose dicho resultado en memoria (véase Figura 4.6.11 a Figura 4.6.13).



Figura 4.6.9. *Gateway* instalado, vista frontal.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.



Figura 4.6.10. Gateway instalado, vista posterior.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

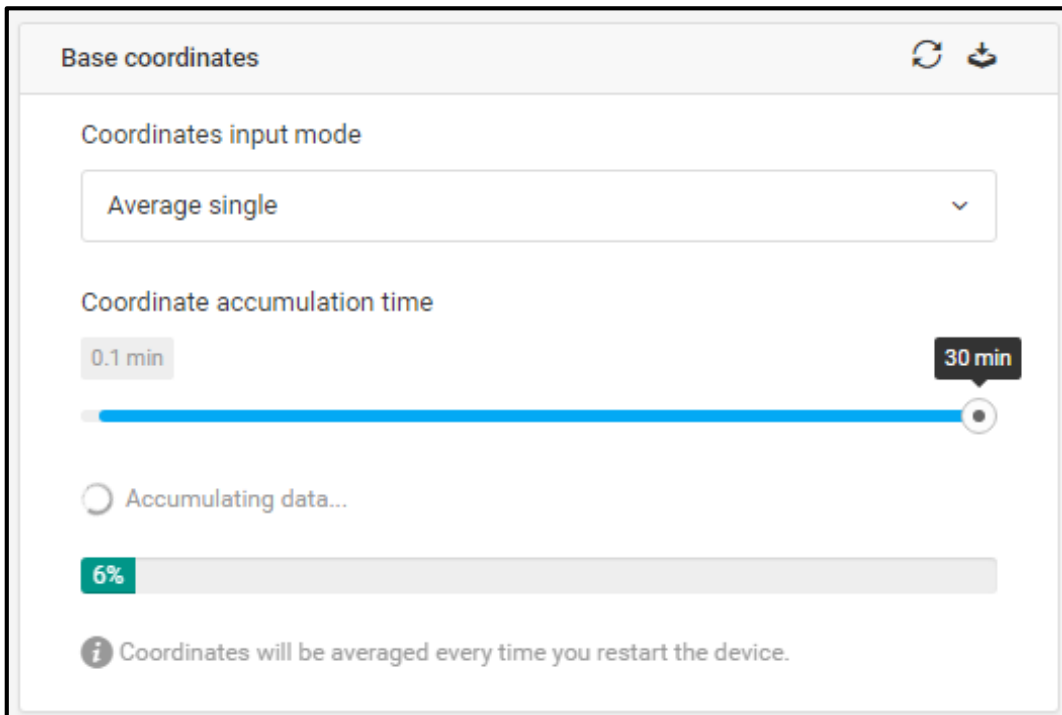


Figura 4.6.11. Estimación de las coordenadas de la estación base con un período de 15 minutos.

Fuente: Véase [61].

Elaboración: Los Autores.

The screenshot shows the 'Base coordinates' settings interface. At the top, there are refresh and save icons. The 'Coordinates input mode' is set to 'Average single'. Below it, the 'Coordinate accumulation time' is shown as a slider ranging from 0.1 min to 30 min, with the current value set at 30 min. Three input fields display the coordinates: Latitude, deg (-4.01969927336), Longitude, deg (-79.2270679838), and Height, m (2327.715). An information icon and text at the bottom state: 'Coordinates will be averaged every time you restart the device.'

Figura 4.6.12. Obtención de las coordenadas de la estación base.
Fuente: Véase [61].
Elaboración: Los Autores.

The screenshot shows the 'Base coordinates' settings interface with the 'Coordinates input mode' set to 'Manual'. The 'Coordinates input mode' dropdown is set to 'Manual'. The 'Coordinate accumulation time' slider is not visible. The three coordinate input fields are: Latitude, deg (-4.01969927336), Longitude, deg (-79.2270679838), and Height, m (2327.715). Below these is a section for 'Antenna height' with an input field set to 2.5 and a note: 'Height value must be between 0 and 6.5535 meters.' The top right corner shows 'LLH' with a dropdown arrow.

Figura 4.6.13. Establecimiento de las coordenadas de forma permanente.
Fuente: Véase [61].
Elaboración: Los Autores.

4.6.2.2. *Instalación del Nodo.*

En la correspondiente instalación del nodo son necesarias algunas adecuaciones en los sensores que lo conforman, en cada sensor de humedad se acopla un tubo galvanizado de 2m el cual servirá como guía y protección del cable, también se usa pegamento para reforzar e impermeabilizar la unión del sensor con el tubo. Acoplados los sensores de humedad se procede a instalarlos en la zona de emplazamiento, uno a cada costado de la estructura anteriormente instalada para el nodo y a una profundidad de 1m y 1.5m respectivamente. Instalada la caja estanca en la estructura, en donde se encuentran adecuados los equipos que conforman al nodo (véase Figura 4.6.14 a Figura 4.6.19).



Figura 4.6.14. Acoplamiento del sensor de humedad a un tubo galvanizado como guía de protección para el cable.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los autores.



Figura 4.6.15. Unión del sensor de humedad al tubo galvanizado mediante pegamento impermeable.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los autores.



Figura 4.6.16. Instalación de los sensores de humedad a 1m y 1.5m de profundidad respectivamente.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los autores.



Figura 4.6.17. Sensores de humedad instalados a cada costado de la estructura del nodo.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.



Figura 4.6.18. Nodo instalado, vista frontal.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.



Figura 4.6.19. Nodo instalado, vista posterior.
Fuente: Los Autores.
Elaboración: Los Autores.

4.7. Pruebas de funcionamiento del prototipo.

El sistema completo se puso a prueba durante dos días, en donde se corrobora el correcto funcionamiento de cada elemento de la WSN; la captura de la imagen diaria de la zona de emplazamiento se almacena con hora y fecha correctas sin generar errores en el SO de Raspberry Pi (véase Figura 4.7.1 y Figura 4.7.2); la correlación realizada entre la estación base y el *rover* se da con éxito obteniéndose el estado de *fix* (mayor precisión) en la coordenada del punto de georreferenciación (véase Figura 4.7.3 y Figura 4.7.4); además, las variables correspondientes al *gateway* y nodo fueron posteadas en la plataforma ThingSpeak de forma correcta (véase Figura 4.7.5 y Figura 4.7.6).

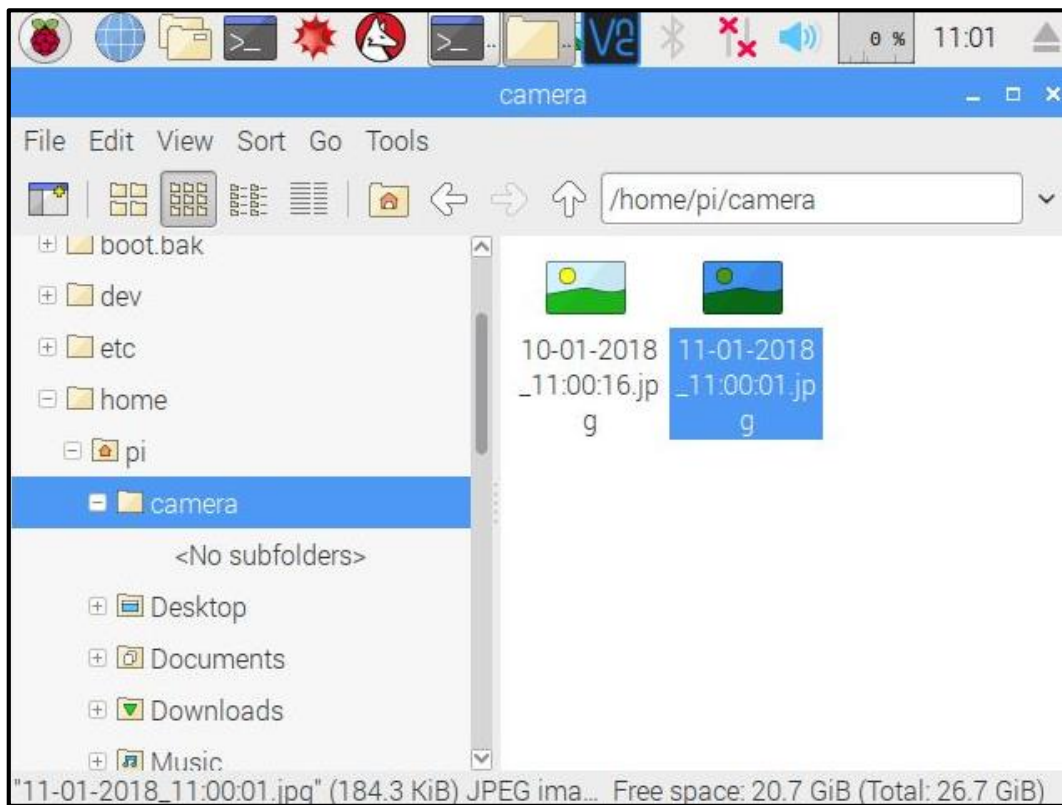


Figura 4.7.1. Almacenamiento de la imagen capturada mediante el módulo de la cámara de Raspberry Pi.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.



Figura 4.7.2. Imagen capturada de la zona de emplazamiento desde el gateway.
 Fuente: Los Autores.
 Elaboración: Los Autores.

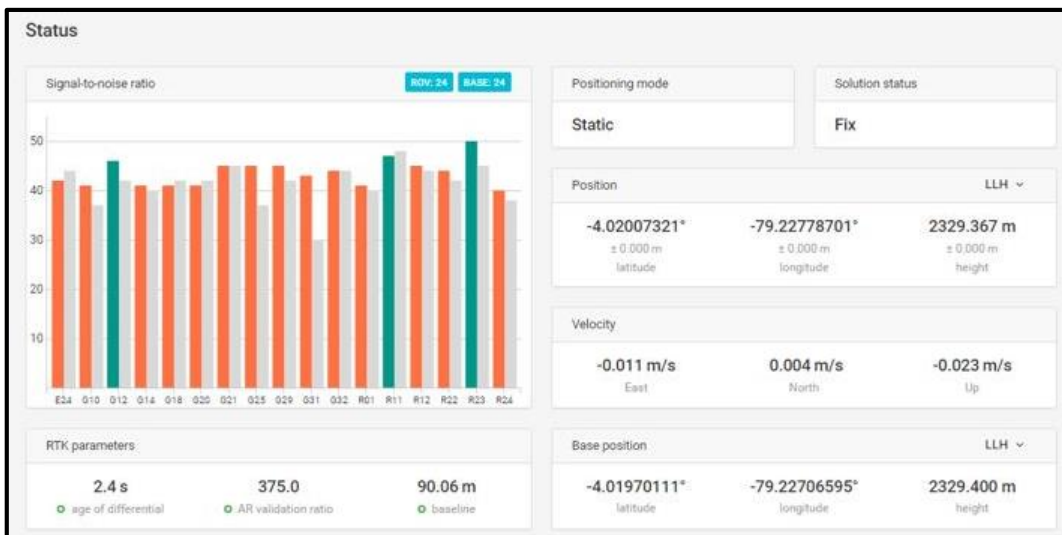


Figura 4.7.3. Estado *fix*, correlación entre la estación base y el rover.
 Fuente: Véase [61].
 Elaboración: Los Autores.

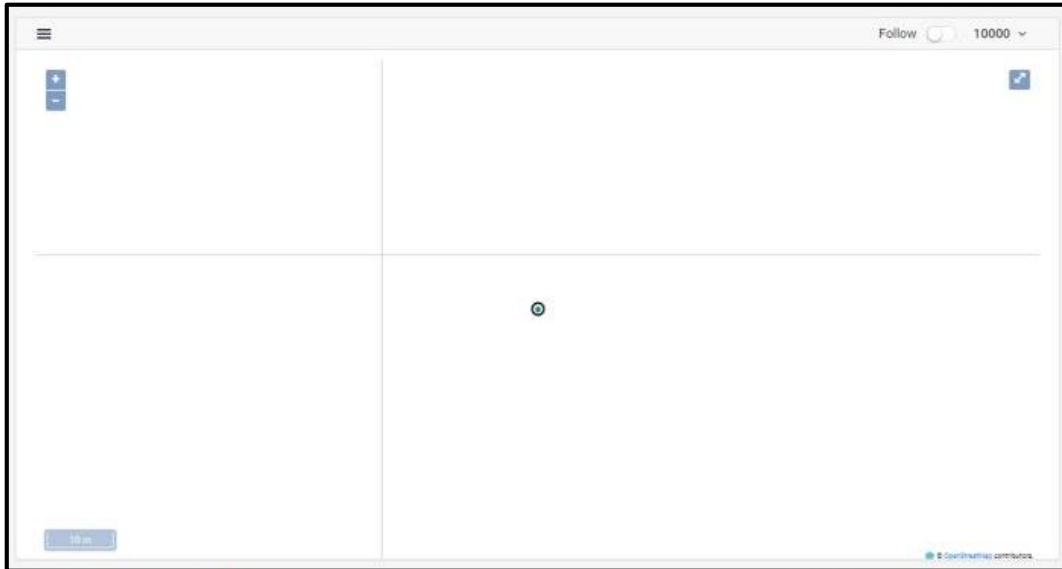


Figura 4.7.4. Punto de georreferenciación obtenido mediante la correlación entre la base y el rover.

Fuente: Véase [61].

Elaboración: Los Autores.

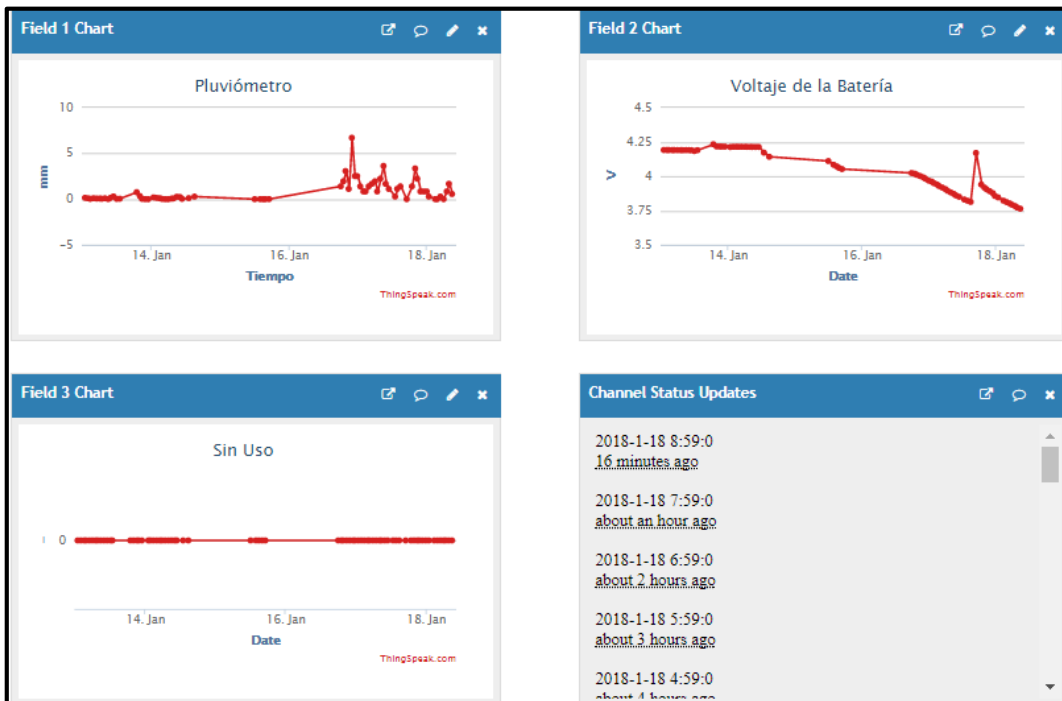
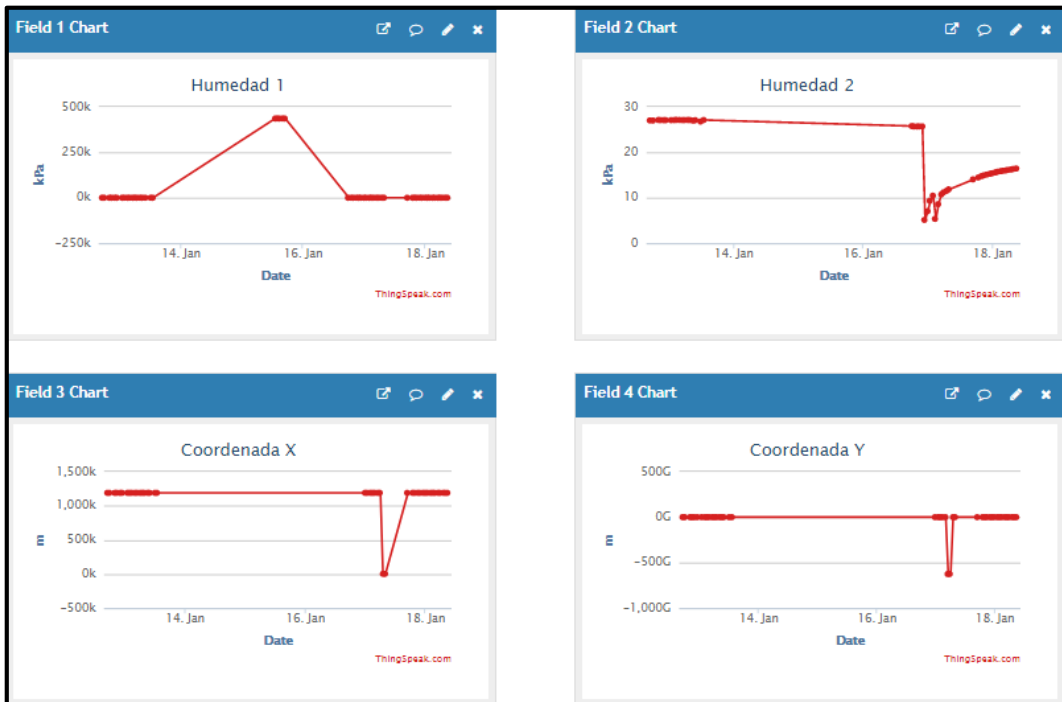


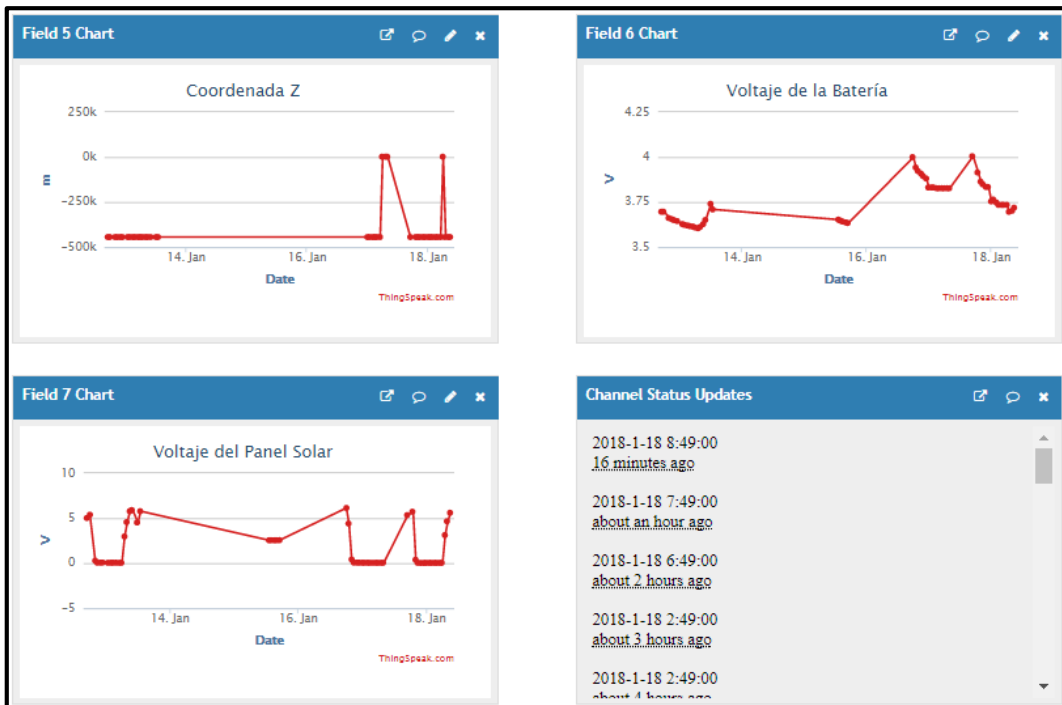
Figura 4.7.5. Variables del gateway posteadas en la plataforma ThingSpeak.

Fuente: Véase [37].

Elaboración: Los Autores.



(a) Primeras cuatro variables.



(b) Últimas cuatro variables.

Figura 4.7.6. Variables posteadas del nodo en la plataforma ThingSpeak.

Fuente: Véase [37].

Elaboración: Los Autores.

CAPÍTULO V
RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. Introducción.

En el presente capítulo se detallan todos los resultados y análisis obtenidos luego de la implementación del sistema; mediciones, margen de error y comparación de datos.

5.2. Resultados de la información medida.

Luego de un período de veintidós días en donde se presentaron condiciones climáticas adversas favorables para corroborar el correcto funcionamiento de la WSN se presentan a continuación los diferentes resultados obtenidos en el *gateway* y nodo respectivamente (véase Figura 5.2.1 a Figura 5.2.12).

Se verifica el almacenamiento diario de una imagen en el directorio establecido de Raspberry Pi, organizadas con fecha y hora. Así mismo se capturan distintos escenarios distinguiendo días soleados y lluviosos (véase Figura 5.2.2).

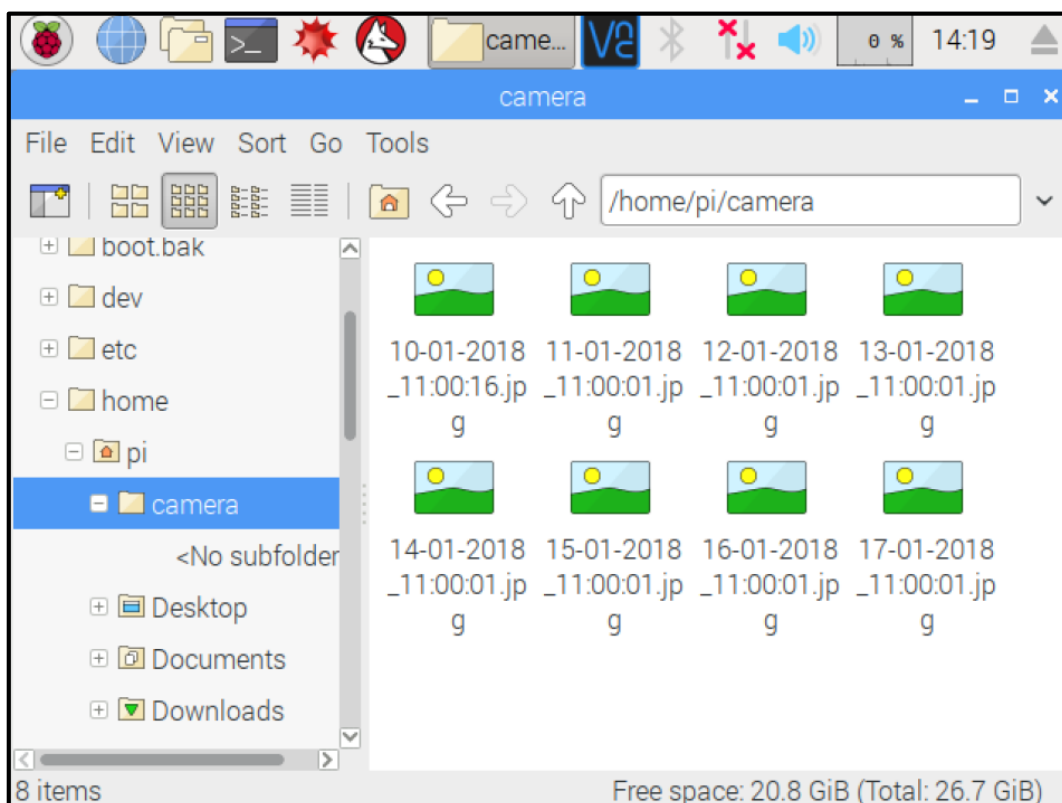
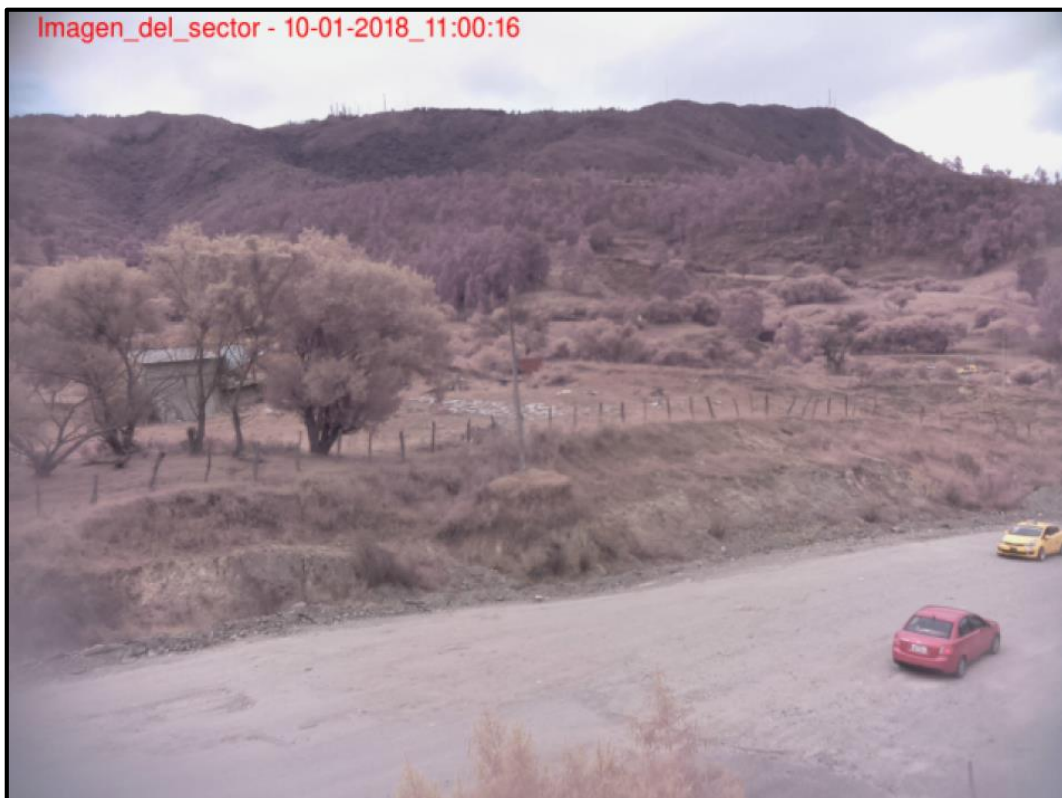


Figura 5.2.1. Archivos almacenados para su análisis posterior.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.



(a) El estado actual de la vía dificulta la circulación de los automotores.



(b) Se observa presencia de precipitación pluvial.

Figura 5.2.2. Imágenes capturadas en el sector de emplazamiento desde el gateway, con hora y fecha establecida.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

En las siguientes representaciones se observa la cantidad de lluvia instantánea medida cada hora durante veintidós días (véase Figura 5.2.3), además se presenta la cantidad de lluvia diaria en el mismo período de tiempo (véase Figura 5.2.4).

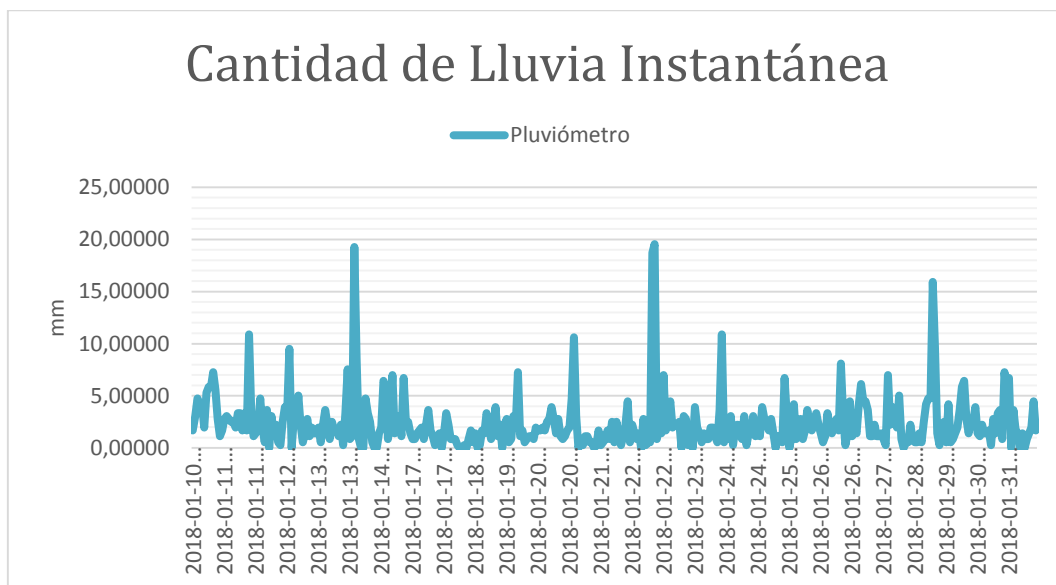


Figura 5.2.3. Precipitación pluvial instantánea.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

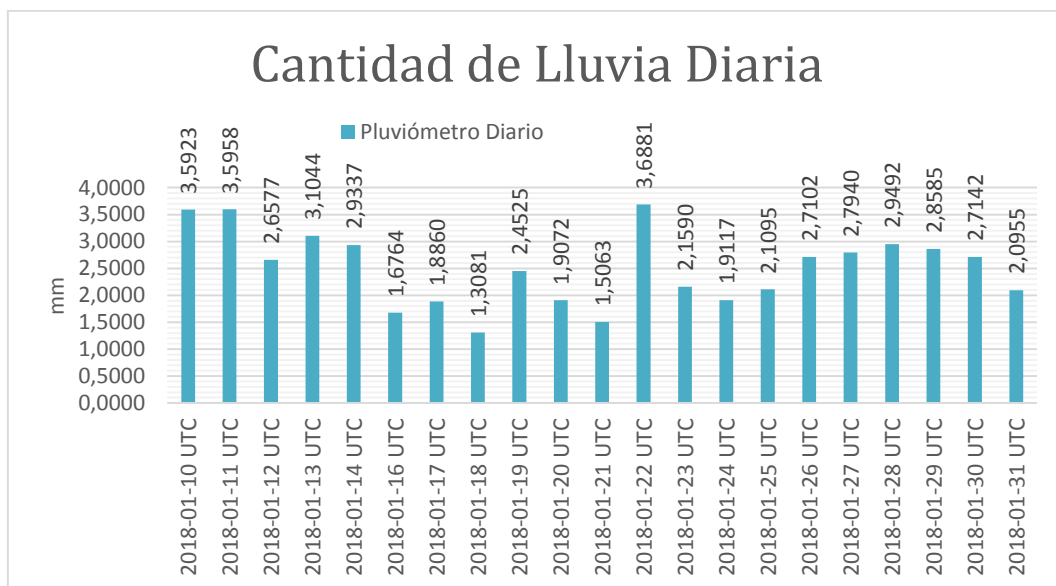


Figura 5.2.4. Precipitación pluvial diaria.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

Así mismo se realiza un monitoreo continuo del nivel de voltaje de la batería del gateway, presenciándose un nivel estable de carga debido a su alimentación continua mediante USB (véase Figura 5.2.5).

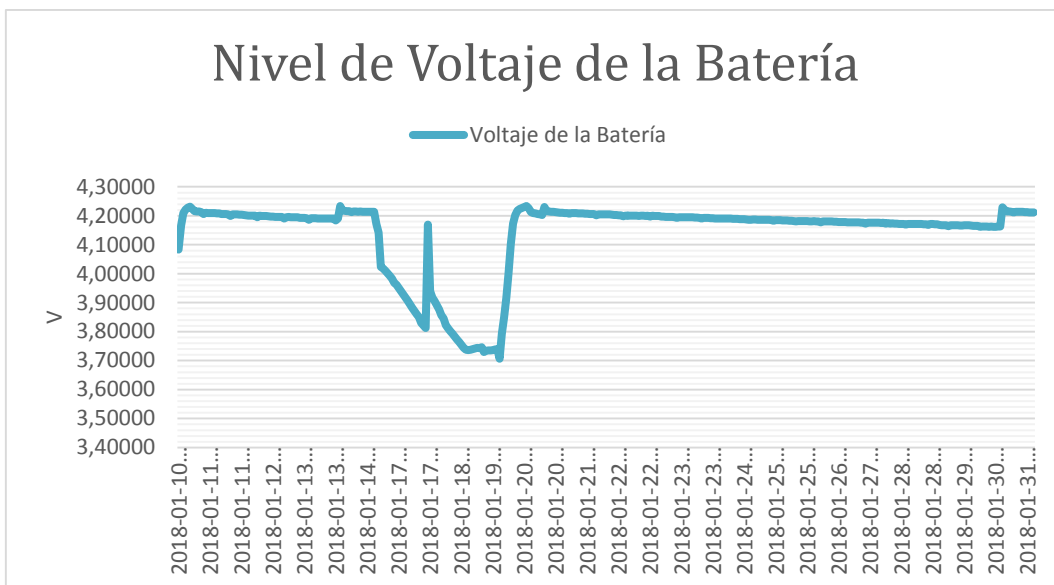


Figura 5.2.5. Estado del nivel de voltaje de la batería en el gateway.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

Se presenta las representaciones gráficas de los estados de los dos sensores de humedad, que miden la tensión o presión del agua en la tierra, que conforman el nodo (véase Figura 5.2.6 a Figura 5.2.7), en las mismas se puede observar como varía la humedad del terreno en presencia de lluvia y corrientes de agua subterráneas, siendo más versátil el sensor de humedad ubicado a 1.5m del suelo. Se estima el estado del suelo según la interpretación dada por el fabricante (véase Tabla 5.2.1), deduciéndose que el suelo está adecuadamente mojado.

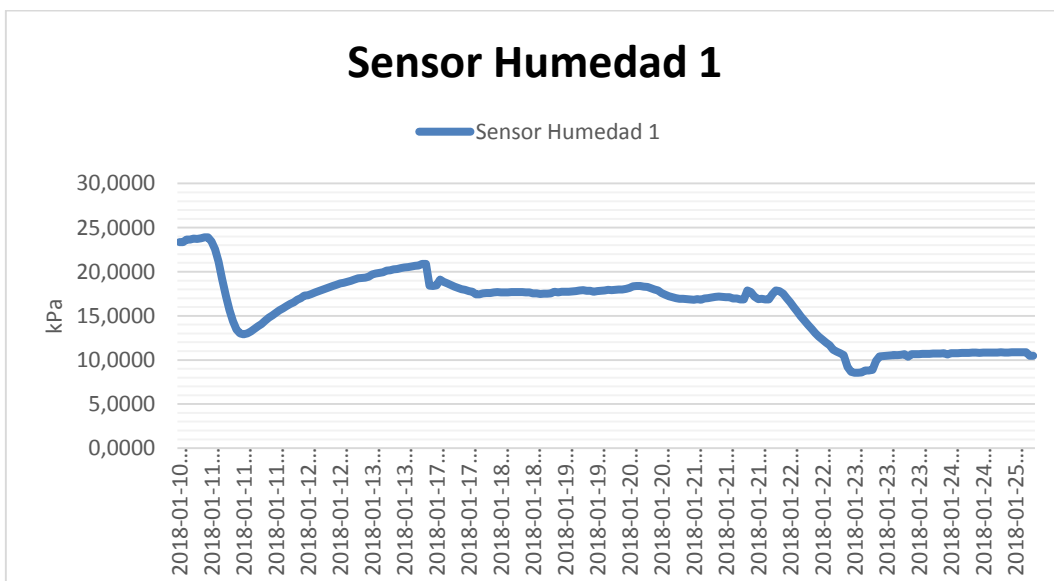


Figura 5.2.6. Humedad del punto de emplazamiento establecido a 1 m de profundidad en el nodo.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

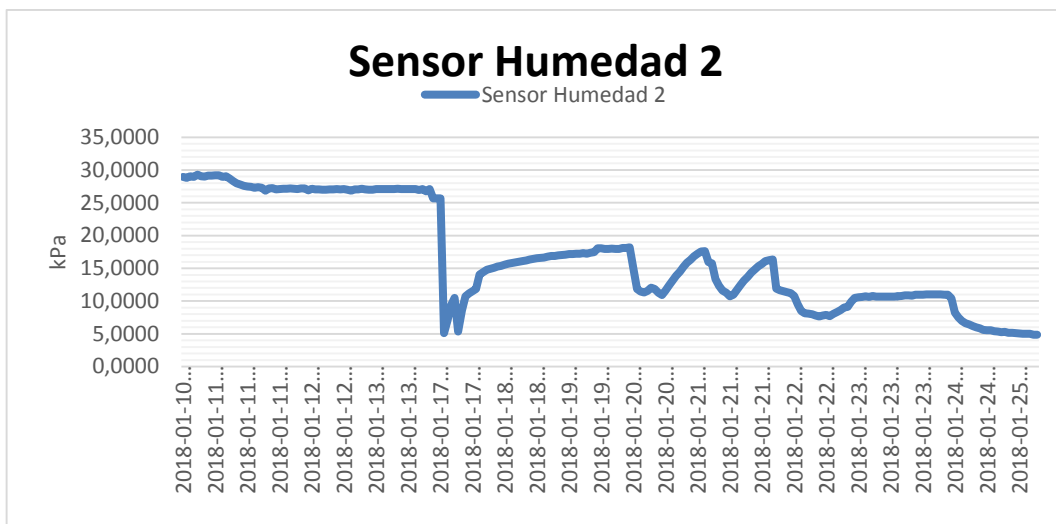


Figura 5.2.7. Humedad del punto de emplazamiento establecido a 1.5 m de profundidad en el nodo.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

Tabla 5.2.1. Interpretación de la medición del sensor Watermark 200SS según la presión del agua en la tierra dado por el fabricante.

Centibar / kPa	Interpretación
0.00	Suelo saturado.
10.00	
20.00	
30.00	Suelo adecuadamente mojado (excepto en arenas gruesas, que están empezando a perder agua).
40.00	Rango usual para irrigación (mayoría de los suelos).
50.00	
60.00	
70.00	Rango usual para irrigación en suelos pesados.
80.00	
90.00	
100.00	
110.00	El suelo se está convirtiendo peligrosamente en suelo seco para la producción máxima. Proceda con cautela.
120.00	
130.00	
140.00	
150.00	
160.00	
170.00	
180.00	
190.00	
200.00	
210.00	
220.00	
230.00	
240.00	

Fuente: [53].

Elaboración: [53].

Así mismo se obtiene diferentes mediciones del punto georreferenciado del *rover*, determinando que ampliando los días de medición se puede llegar a minimizar el margen de error calculado en dicho punto (véase Figura 5.2.8 a Figura 5.2.10).

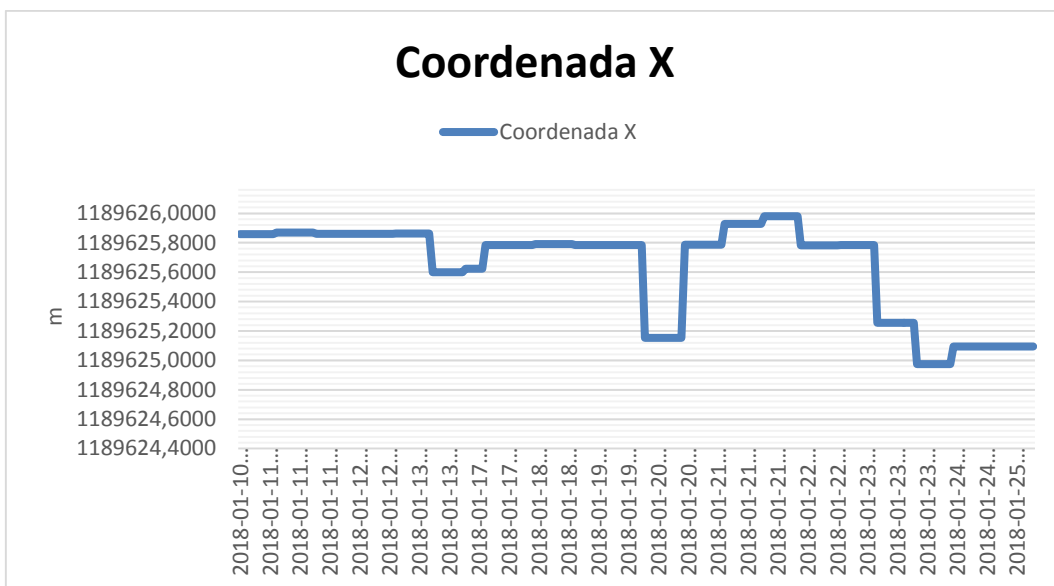


Figura 5.2.8. Variación de la coordenada X en el *rover*.
Fuente: Los autores.
Elaboración: Los autores.

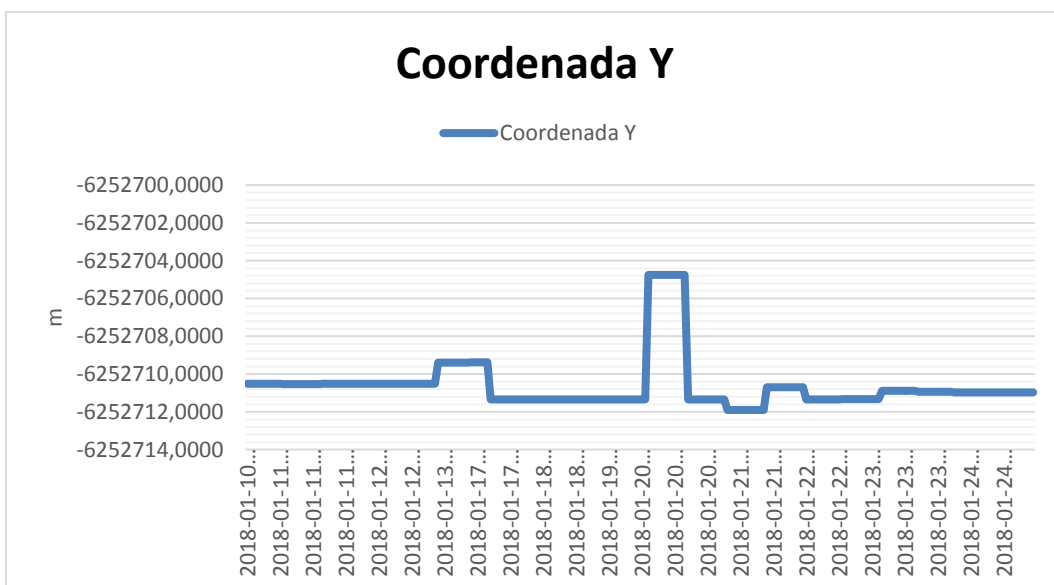


Figura 5.2.9. Variación de la coordenada Y en el *rover*.
Fuente: Los autores.
Elaboración: Los autores.

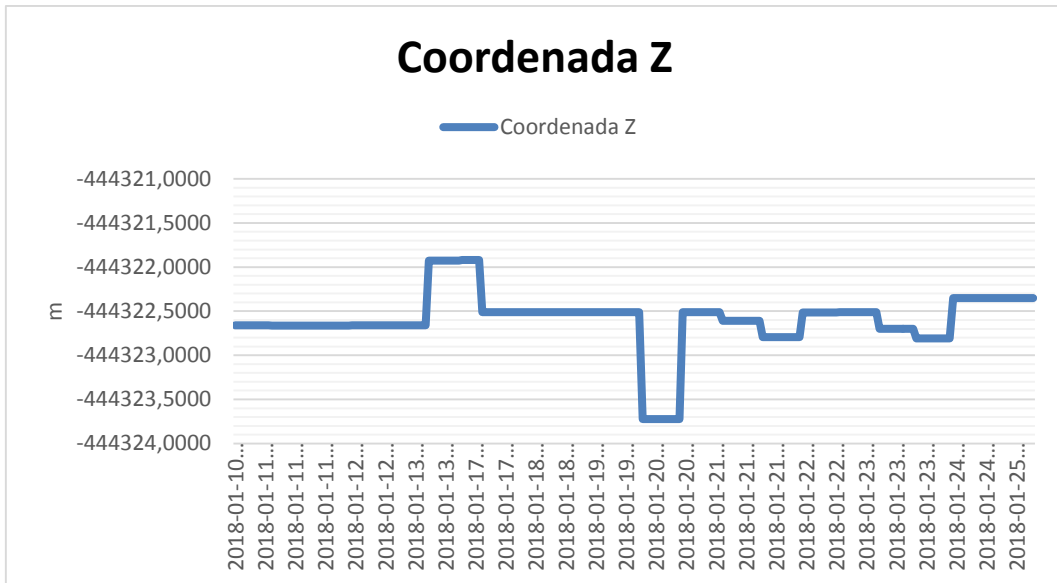


Figura 5.2.10. Variación de la coordenada Z en el rover.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

Se realiza un monitoreo continuo del nivel de voltaje de la batería del nodo (véase Figura 5.2.11), cuya variación depende directamente del nivel de radiación solar y del nivel de voltaje en el panel solar, reconociéndose que en la zona de emplazamiento existió un mayor nivel de nubosidad en el periodo de pruebas (véase Figura 5.2.12).

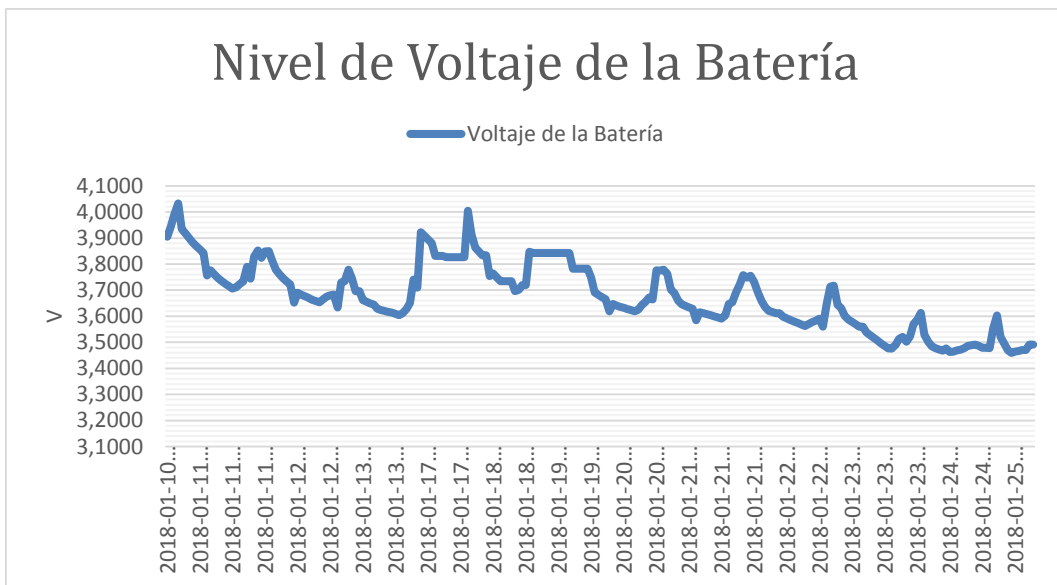


Figura 5.2.11. Estado del nivel de voltaje de la batería en el nodo.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

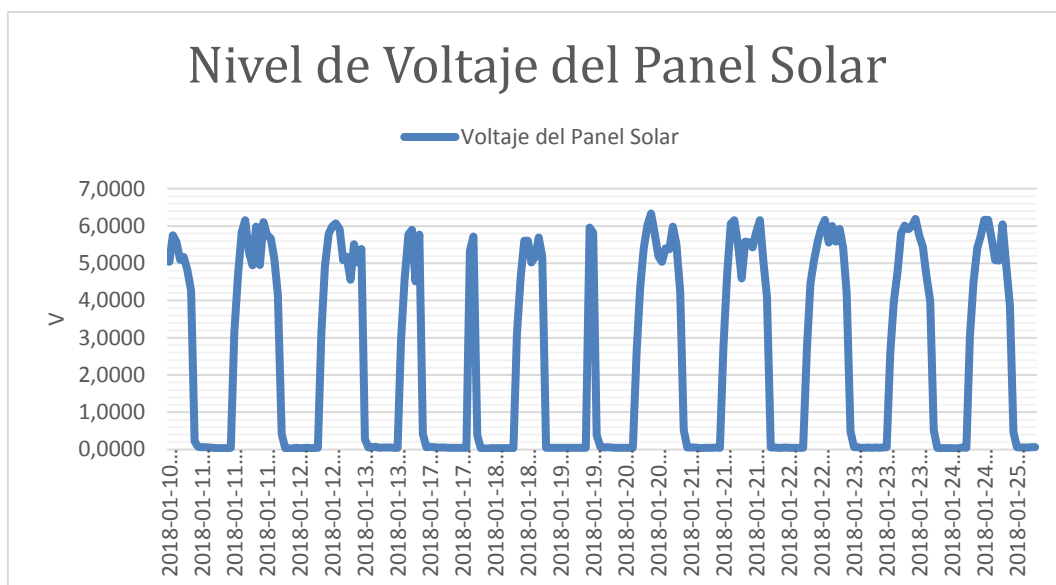


Figura 5.2.12. Estado del nivel de voltaje del panel solar en el nodo.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

Tabla 5.2.2. Ubicación del nodo medida con el equipo profesional Trimble R6.

Global (Grados, Minutos y Segundos)		Global (Decimal)		Coordenadas Cartesianas	
Latitud	S4°1'12.2766"	Latitud	-4.020076644854	X (m)	1189624.70382222
Longitud	079°13'0368"	Longitud	-79.22778780046	Y (m)	-6252704.9185702
Altura (m)	2323.672	Altura (m)	2323.672	Z (m)	-444322.642966766

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

Tabla 5.2.3. Ubicación del nodo medida con el módulo *Reach RTK GNSS*.

Global (Grados, Minutos y Segundos)		Global (Decimal)		Coordenadas Cartesianas	
Latitud	S4°1'12.3096"	Latitud	-4.0200864389125	X (m)	1189625.1529
Longitud	079°13'40.0218"	Longitud	-79.227783544862	Y (m)	-6252704.7496
Altura (m)	2323.66588	Altura (m)	2323.66588	Z (m)	-444323.7233

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

Mediante el empleo de un equipo profesional utilizando el Sistema Geodésico Mundial WGS84, se mide un punto de referencia en la base de la estructura (véase Tabla 5.2.2) para determinar el margen de error en la medición del punto georreferenciado del *rover*. Una vez obtenido dicho punto (véase Tabla 5.2.3) se determina que existe una variación de $\Delta_x = 0.449\text{m}$, $\Delta_y = 0.169\text{m}$ y $\Delta_z = 1.080\text{m}$ (véase Tabla 5.2.4), concluyéndose que el nivel variación de dicho punto es centimétrico. Además, se presenta mediante diagramas de cajas

de X Y Z la distribución del conjunto de datos obtenidos del punto georreferenciado (véase Figura 5.2.13 a Figura 5.2.15).

Tabla 5.2.4. Diferencia entre el valor medido con el Trimble R6 y el valor medido con el módulo *Reach RTK GNSS* en el nodo.

Coordenadas Cartesianas		Diferencia	
	Trimble R6	GPS Reach	
X (m)	1189624.70382222	1189625.1529	0.449
Y (m)	-6252704.9185702	-6252704.7496	0.169
Z (m)	-444322.642966766	-444323.7233	1.080

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

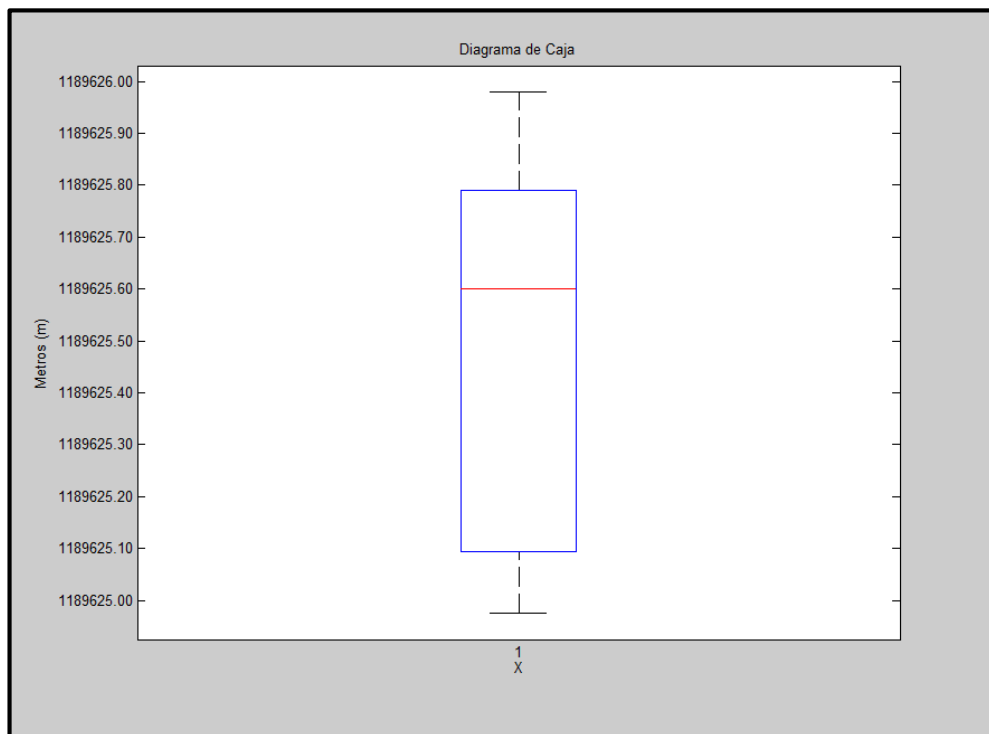


Figura 5.2.13. Diagrama de caja de la posición georreferenciada en X obtenida en el período de pruebas mediante el módulo *Reach RTK GNSS*.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

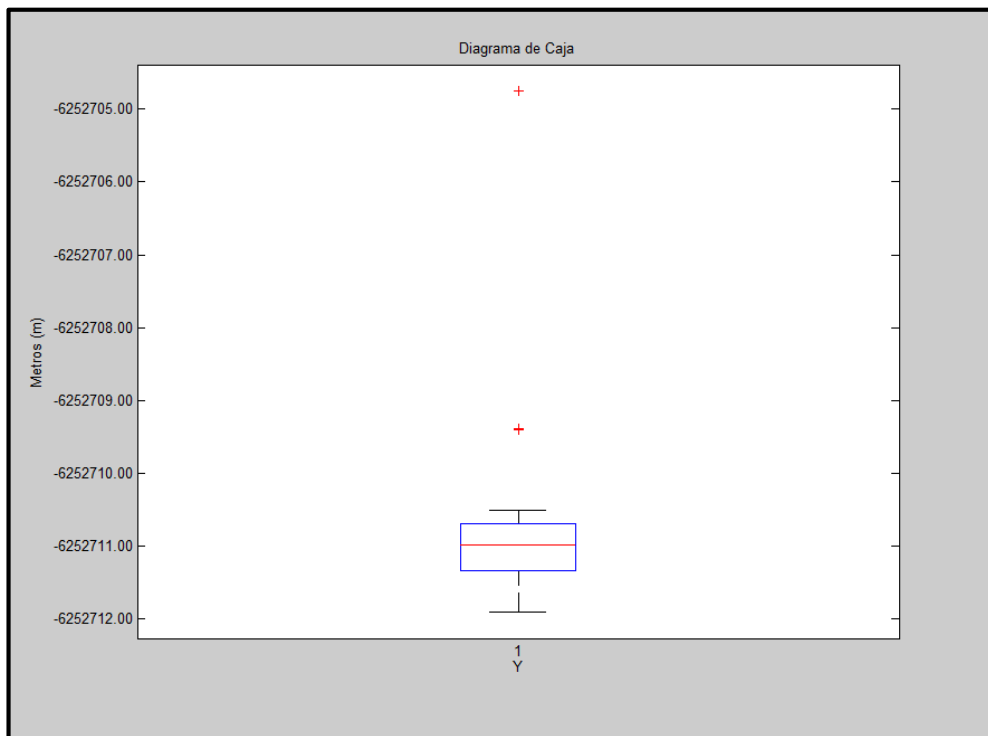


Figura 5.2.14. Diagrama de caja de la posición georreferenciada en Y obtenida en el período de pruebas mediante el módulo *Reach RTK GNSS*.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

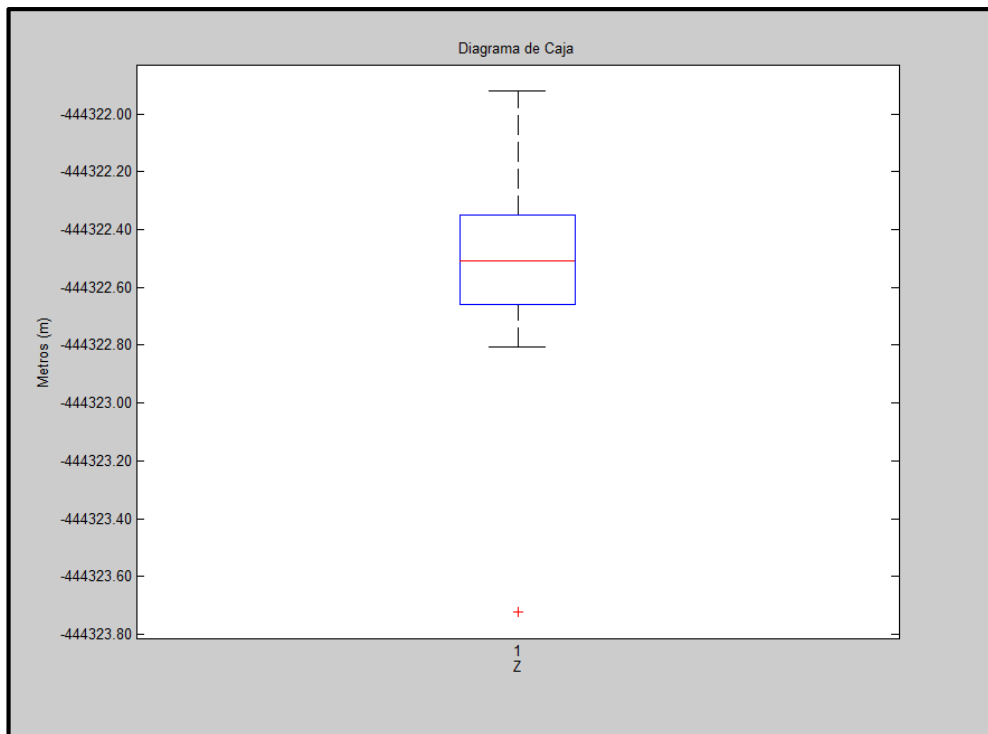


Figura 5.2.15. Diagrama de caja de la posición georreferenciada en Z obtenida en el período de pruebas mediante el módulo *Reach RTK GNSS*.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

CONCLUSIONES

- El sistema diseñado permite el monitoreo de las zonas en donde ocurren movimientos de masa o deslizamientos de tierra, automatizando el proceso de obtención y análisis de datos de cada una de las variables involucradas en dicho sistema, evitando la movilización de personal a la zona de emplazamiento y facilitando el acceso a la información obtenida mediante una plataforma en Internet.
- Dado el movimiento evidente en la zona de emplazamiento de 6.8, 4.6, 3.4 y 0.2 m/años, se determinó que el deslizamiento de tierra posee un rango de variación entre centímetros y metros por año en determinados puntos específicos en la hoya de la ciudad de Loja, por tal razón es factible el uso de equipos con precisión milimétrica o centimétrica como los empleados en el presente Trabajo de Titulación.
- Debido a la precisión centimétrica del equipo empleado, la exactitud en la medición de la coordenada de posición georreferenciada dependerá de la precisión propia del mismo, su instalación y configuración; además, influyen las variables externas como: condiciones climáticas, obstrucciones, entre otros.
- La variación del nivel de humedad proporcionado por los sensores instalados no solo depende de la precipitación pluvial, sino también de las corrientes de agua subterráneas presentes en el terreno. Al momento de presentarse precipitaciones, el sensor más cercano a la superficie tiende a saturarse más rápido que el sensor instalado a mayor profundidad.
- Al cambiarse la posición georreferenciada de la estación base variará el resultado de ubicación del punto georreferenciado en el *rover*. Siendo el tiempo de medición una variable que influye directamente sobre la precisión de la posición en la estación base.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el diseño y construcción de una placa de acoplamiento profesional con sus correspondientes componentes basados en tecnología SMD, también que incluya un circuito conversor de carga DC/DC, debe poseer una máscara silk screen y una máscara antisolder para evitar daños por óxido.
- Debido a la precisión centimétrica del equipo empleado, la coordenada georreferenciada ingresada en la estación base utilizada para la correlación de los equipos *rover*, debe ser medida con un equipo profesional de precisión milimétrica y corregida mediante DPGS.
- Para una medición más precisa se debe ubicar la antena del GPS correctamente nivelada, sin ninguna obstrucción (personas, árboles, edificaciones, etc.) con un ángulo colatitud de 75° , evitar que el viento la mueva y manteniéndola alejada de campos electromagnéticos. Además, se debe incrementar el tiempo de correlación para obtener una mayor precisión de las coordenadas georreferenciadas.
- Instalar el pluviómetro en la parte más elevada de la estructura, evitando que objetos como la antena del módulo *Reach RTK GNSS* o la caja del *gateway* generen obstrucciones que eviten obtener la cantidad real de lluvia.
- La cámara adecuada a la Raspberry Pi debe poseer una mayor resolución y con un adaptador con case externo para obtener una imagen con mejor calidad y mantener la impermeabilización de la caja estanca, evitándose el ingreso de agua y polvo al interior de la misma.
- Procurar la seguridad del cableado de los sensores de humedad al momento de instalarlos debajo de la tierra, también se debe dejar una reserva de cable ya que con el movimiento de la tierra el mismo tenderá a romperse por la tensión entre el sensor y el conector.
- La estructura para cada elemento debe ser fija, el tubo debe estar fundido con hormigón en su interior para mantener firme la estructura mientras se mueve por el desprendimiento y deslizamiento de tierra. De igual manera la ubicación de la antena del módulo *Reach RTK GNSS* debe ser elevada para obtener una mejor señal, libre de obstrucciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] United Nations, UN, "Objetivos de Desarrollo Sostenible, Objetivo 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles.," 25 Septiembre 2015. [Online]. Available: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>. [Accessed 26 Julio 2017].
- [2] SGR, "Escenario de probabilidad de generación de movimientos de masa.," Diciembre 2016. [Online]. Available: http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/12/Escenario_Mensual_MOV_Diciembre2016.pdf. [Accessed 26 Julio 2017].
- [3] Municipio de Loja, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.," Loja, 2014.
- [4] W. Tambo, R. Seco and E. Castellano, "Estudio del peligro de deslizamiento del norte de la ciudad de Loja, Provincia de Loja. Ecuador.," 2011. [Online]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/316/1/T-SENESCYT-0086.pdf>. [Accessed 27 Julio 2017].
- [5] F. González, R. Seco and E. Castellanos, "Análisis del peligro de deslizamientos. Estudio de caso: Sur de la ciudad de Loja, Provincia de Loja-Ecuador.," 2011. [Online]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/334/1/T-SENESCYT-0104.pdf>. [Accessed 27 Julio 2017].
- [6] M. V. Ramesh, "Design, development, and deployment of a wireless sensor network for detection of landslides.," Febrero 2014. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/259162960_Design_development_and_deployment_of_a_wireless_sensor_network_for_detection_of_landslides. [Accessed 28 Julio 2017].
- [7] C. Fosalau, C. Zet and D. Petrisor, "Implementation of a Landslide Monitoring System as a Wireless Sensor Network.," Diciembre 2016. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7777813/?reload=true>. [Accessed 28 Julio 2017].
- [8] G. Quoc Anh, N. Dinh-Chinh, T. Duc-Nghiam and T. Duc-Tan, "Monitoring of Landslides in Mountainous Regions based on FEM Modelling and Rain Gauge Measurements," Octubre 2016. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/309761762_Monitoring_of_Landslides_in_Mountainous_Regions_based_on_FEM_Modelling_and_Rain_Gauge_Measurements. [Accessed 28 Julio 2017].
- [9] D. Chen, Z. Liu, L. Wang, M. Dou, J. Chen and H. Li, "Natural Disaster Monitoring

- with Wireless Sensor Networks: A Case Study of Data-intensive Applications upon Low-Cost Scalable Systems.," Agosto 2013. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11036-013-0456-9>. [Accessed 28 Julio 2017].
- [10] K. H. Woo, "Development of Wireless Sensor Node for Landslide Detection.," 2016. [Online]. Available: http://journals.sfu.ca/apan/index.php/apan/article/viewFile/206/pdf_127. [Accessed 25 Agosto 2017].
- [11] J. D. Jiménez Perálvarez, "Análisis de la susceptibilidad a los moviminetos de ladera mediante ArcGIS en la cuenca vertiente al embalse de Rules, Granada," 15 Octubre 2008. [Online]. Available: <http://www.ugr.es/~rachidej/Publicaciones.html>. [Accessed 31 Agosto 2017].
- [12] UNICEF, "Prevención de desastres de origen geológico.," 2013. [Online]. Available: https://www.unicef.org/lac/UNICEF_be_folleto_3_Derrumbes_y_deslizamientos_reduc.pdf. [Accessed 31 Agosto 2017].
- [13] SGR, "Informe de situación época lluviosa en Ecuador.," Junio 2017. [Online]. Available: <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-de-situacion-epoca-lluviosa-2017/>. [Accessed 28 Julio 2017].
- [14] P. Pucha and B. Zárate, "Variación temporal y espacial del contenido de humedad como factor desencadenante a un movimiento de masa.," 2016. [Online]. Available: <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/15902/1/Pucha%20Anguinsaca%20Pablo%20Andres.pdf>. [Accessed 27 Julio 2017].
- [15] K. Garay, "Movimiento en masa y estabilidad de taludes naturales.," 24 Septiembre 2015. [Online]. Available: <http://karen-tokyo-ghoul.blogspot.com/2015/10/semana-vii.html>. [Accessed 28 Agosto 2017].
- [16] J. Soto, J. Galve, J. A. Palenzuela, J. M. Azañón, J. Tamay and C. Irigaray, "A multi-method approach for the characterization of landslides in an intramontane basin in the Andes (Loja, Ecuador)," Junio 2016. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-017-0830-y>. [Accessed 18 Mayo 2017].
- [17] J. M. Enciso, D. Porter and X. Périés, "Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego.," 2012. [Online]. Available: http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87470/pdf_2437.pdf. [Accessed 31 Agosto 2017].
- [18] SEPOR, "Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego.,"

2014. [Online]. Available: http://www.sepor.cl/informacion_cartillas/S206_Cartilla_Uso_de_sensores_para_medir_la_humedad_del_suelo.pdf. [Accessed 31 Agosto 2017].
- [19] Biología Sur, "Procesos geológicos externos y sus riesgos.," 2012. [Online]. Available: <http://www.biologiasur.org/Ciencias/index.php/geosfera/procesos-geologicos-externos-y-sus-riesgos>. [Accessed 28 Agosto 2017].
- [20] R. Garreaud S. and C. Meraune N., "Instrumentos Meteorológicos y Humedad Atmosférica.," 2005. [Online]. Available: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/meteo_mod1.pdf. [Accessed 1 Septiembre 2017].
- [21] Davis Instruments, "Stand Alone Rain Collectors.," 21 Marzo 2017. [Online]. Available: https://www.davisnet.com/product_documents/weather/spec_sheets/6463_6465_SS.pdf. [Accessed 8 Agosto 2017].
- [22] T. Giménez Rodríguez and M. E. Ros Bernabeu, "Sistema de Posicionamiento Global (GPS).," 2010. [Online]. Available: http://webs.um.es/bussons/GPSresumen_TamaraElena.pdf. [Accessed 1 Septiembre 2017].
- [23] Facultad de Ciencias, UCA, "Portal Web del Control Geodésica y de Calidad de la Red Andaluza.," 2014. [Online]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11417/fichero/Cap%C3%ADtulos+%252F3-+GPS+Diferencial.pdf>. [Accessed 1 Septiembre 2017].
- [24] Eduardo López Valdés, "EPSEB," 23 Junio 2010. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10932/PFC.pdf>. [Accessed 27 Diciembre 2017].
- [25] Google, "Google Maps.," 2017. [Online]. Available: <https://www.google.com.ec/maps>. [Accessed 30 Agosto 2017].
- [26] National Instruments, "Qué es una Red de Sensores Inalámbricos.," 2009. [Online]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/>. [Accessed 1 Septiembre 2017].
- [27] A. Calvo Montes and I. Nistal González, "Wireless Sensor Networks.," 2012. [Online]. Available: <http://www.tsc.uc3m.es/docencia/SyCT/docencia/SyCT/2007/Wireless%20Sensor%20ONetworks.pdf>. [Accessed 5 Septiembre 2017].
- [28] GPRSbee, "Página Oficial.," 2015. [Online]. Available: <http://gprsbee.com/>. [Accessed 19 Mayo 2017].
- [29] DIGI, "Digi XBee ZigBee.," 2016. [Online]. Available:

- <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/2-4-ghz-modules/xbee-zigbee#specifications>. [Accessed 28 Julio 2017].
- [30] Digi International Inc., "XBee-PRO 900 RF Modules.," 17 Junio 2013. [Online]. Available: http://ftp1.digi.com/support/documentation/90002134_C.pdf. [Accessed 15 Diciembre 2017].
- [31] Raspberry Pi, "Raspberry Pi ORG," Diciembre 2017. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org>. [Accessed 15 Diciembre 2017].
- [32] SODAQ, "Shop Sodaq Mbili.," 2017. [Online]. Available: <https://shop.sodaq.com/en/sodaq-mbili.html>. [Accessed 1 Agosto 2017].
- [33] SODAQ, "Soporte Mbili.," 2015. [Online]. Available: <http://support.sodaq.com/sodaq-one/sodaq-mbili-1284p/>. [Accessed 1 Agosto 2017].
- [34] Adafruit, "PowerBoost 1000 Charger - Rechargeable 5V Lipo USB Boost @ 1A - 1000C.," 2017. [Online]. Available: <https://www.adafruit.com/product/2465>. [Accessed 19 Diciembre 2017].
- [35] Ubidots, "Página Oficial.," 2017. [Online]. Available: <https://ubidots.com/>. [Accessed 19 Mayo 2017].
- [36] Ubidots, "Ubidots API Documetation.," 2017. [Online]. Available: <https://ubidots.com/docs/>. [Accessed 2 Agosto 2017].
- [37] ThingSpeak, "Página Oficial.," 2017. [Online]. Available: <https://thingspeak.com/>. [Accessed 19 Mayo 2017].
- [38] ThingSpeak, "ThingSpeak Documentation.," 2017. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/?requestedDomain=www.mathworks.com>. [Accessed 2 Agosto 2017].
- [39] SparkFun Electronics Inc, "Phant, Página Oficial.," 2017. [Online]. Available: <https://data.sparkfun.com/>. [Accessed 19 Mayo 2017].
- [40] SparkFun Electronics Inc, "Phant Documentation.," 2014. [Online]. Available: <http://phant.io/docs/>. [Accessed 2 Agosto 2017].
- [41] CEDIA y UTPL, "Portal de Estaciones Meteorológicas, Página Oficial.," 2017. [Online]. Available: <http://190.15.141.114/#/>. [Accessed 19 Mayo 2017].
- [42] W3Schools, "HTML URL Encoding Reference.," 2017. [Online]. Available: https://www.w3schools.com/tags/ref_urlencode.asp. [Accessed 7 Septiembre 2017].
- [43] MQTT ORG, "Frequently Asked Questions, What is MQTT?," 2017. [Online]. Available: <http://mqtt.org/faq>. [Accessed 9 Septiembre 2017].
- [44] Davis Instrument, "Wireless Vantage Pro2™ with Standard Radiation Shield.," 2017.

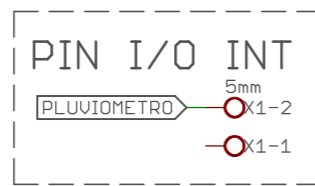
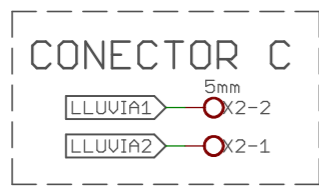
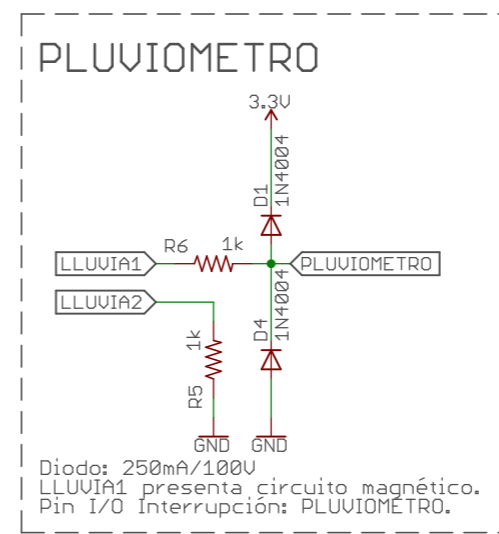
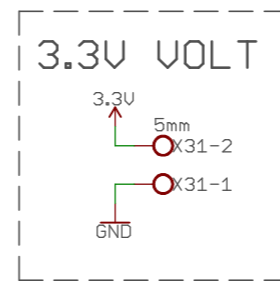
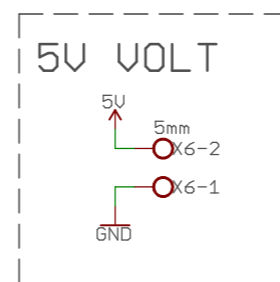
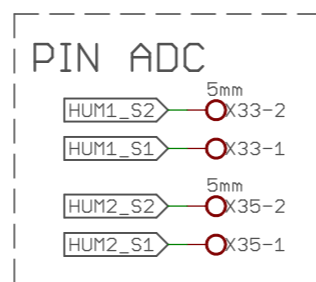
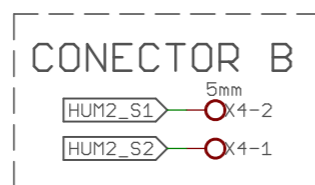
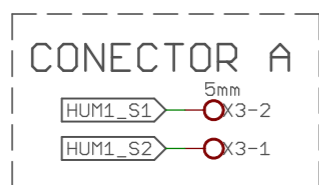
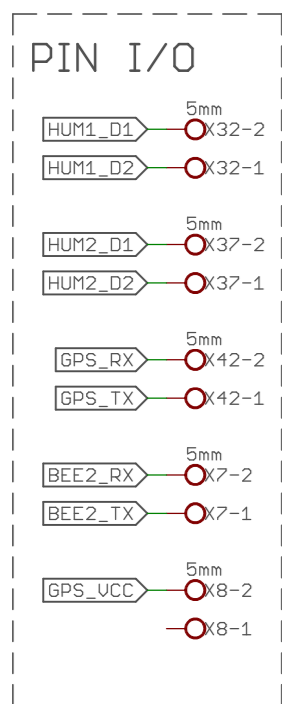
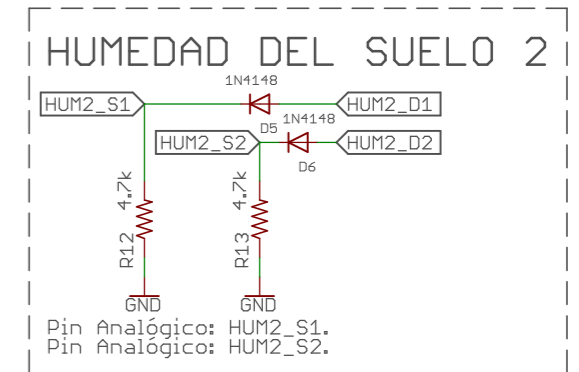
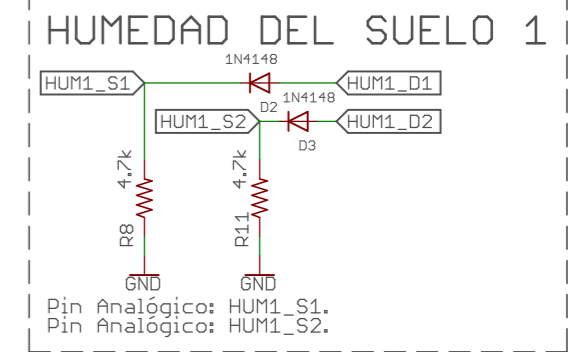
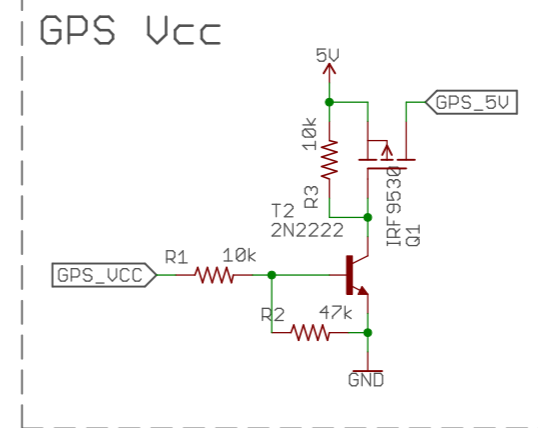
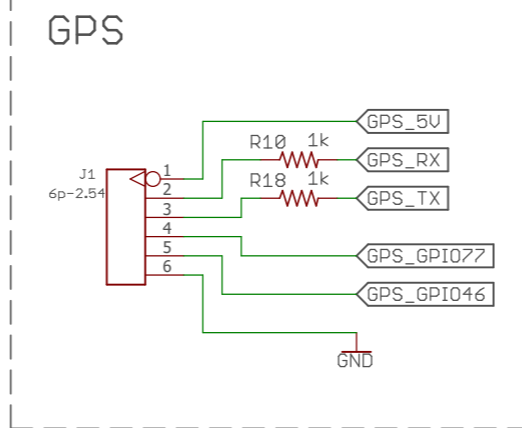
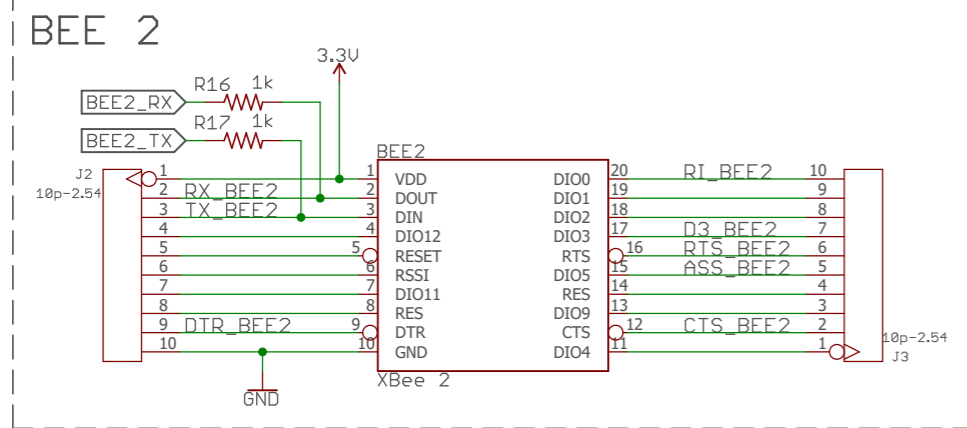
- [Online]. Available: <http://www.davisnet.com/product/wireless-vantage-pro2-with-standard-radiation-shield/>. [Accessed 11 Mayo 2017].
- [45] Davis Instruments, "Complete Wireless Soil Moisture/Temperature Station.," 2017. [Online]. Available: <http://www.davisnet.com/product/complete-wireless-soil-moisturetemperature-station/>. [Accessed 11 Mayo 2017].
- [46] Irrrometer, "Moisture Sensor Agricultural Irrigation Desing Manual.," 2005. [Online]. Available: <http://irrometer.com/pdf/supportmaterial/ADG2006.pdf>. [Accessed 18 Mayo 2017].
- [47] Libelium, "Smart Agriculture 3.0. Technical Guide.," 2017. [Online]. Available: http://www.libelium.com/downloads/documentation/agriculture_sensor_board_3.0.pdf. [Accessed 19 Mayo 2017].
- [48] Irrrometer, "975 IRROmesh Wireless System.," 2017. [Online]. Available: <http://irrometer.com/975.html>. [Accessed 18 Mayo 2017].
- [49] Weatherlink, "Weatherlink.," 2017. [Online]. Available: <https://www.weatherlink.com/>. [Accessed 30 Julio 2017].
- [50] Claro, "Página Oficial.," 2017. [Online]. Available: <http://www.claro.com.ec>. [Accessed 19 Mayo 2017].
- [51] CNT E.P., «Página Oficial.» 2017. [En línea]. Available: <https://www.cnt.gob.ec/>. [Último acceso: 19 Mayo 2017].
- [52] Movistar, "Página Oficial.," 2017. [Online]. Available: <https://www.movistar.com.ec/>. [Accessed 19 Mayo 2017].
- [53] Irrrometer, "Sensor de Humedad del Suelo WATERMAR Modelo 200SS.," Julio 2016. [Online]. Available: <http://www.irrometer.com/pdf/sensors/403SP%20WATERMARK%20Sensor-WEB.pdf>. [Accessed 9 Septiembre 2017].
- [54] SparkFun Electronics Inc, "Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15). Humidity and Temperature Sensor.," Julio 2008. [Online]. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/SHT1x_datasheet.pdf. [Accessed 9 Septiembre 2017].
- [55] Vegetronix, "VH400 Soil Moisture Sensor Probes.," 2008. [Online]. Available: <http://www.vegetronix.com/Products/VH400/>. [Accessed 9 Septiembre 2017].
- [56] R. Allen, "Calibration for the Watermark 200SS Soil Water Potential Sensor to fit the 7-19-96 "Calibration #3" Table from Irrrometer," 13 Octubre 2000. [Online]. Available: https://www.kimberly.uidaho.edu/water/swm/calibration_watermark2.pdf. [Accessed

17 Diciembre 2017].

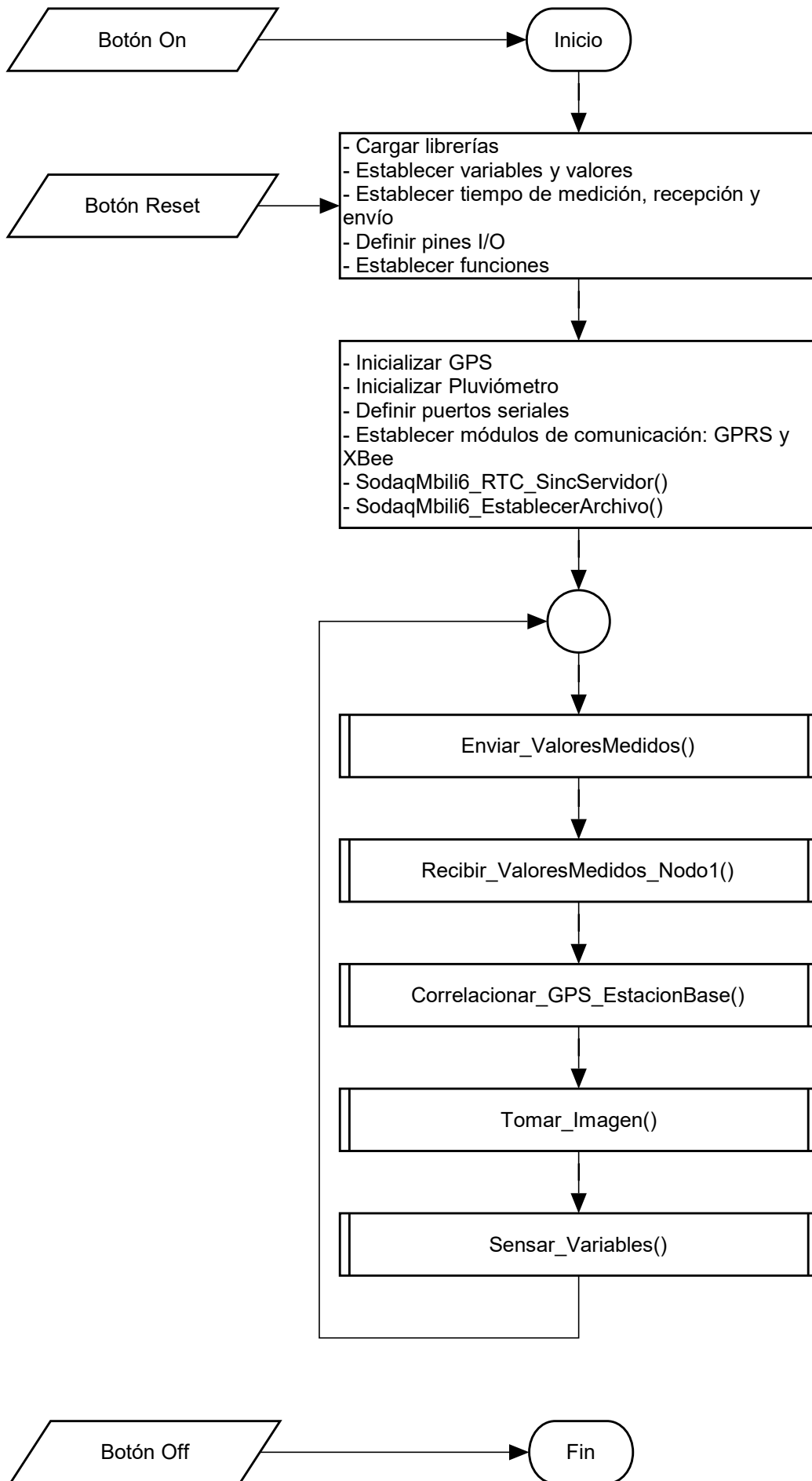
- [57] Davis Instruments, "Davis AeroCone Reduces Rainfall. Error Caused by Wind.," Mayo 2017. [Online]. Available: https://www.davisnet.com/product_documents/weather/app_notes/93004_338_AN_38.pdf. [Accessed 14 Agosto 2017].
- [58] SparkFun Electronics Inc, "Weather Sensor Assembly p/n 80422.," [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/Weather%20Sensor%20Assembly..pdf>. [Accessed 14 Agosto 2017].
- [59] Davis Instruments, "AeroCone Rain Collector with Vantage Pro2 Mounting Base.," 2017. [Online]. Available: <http://www.davisnet.com/product/aerocone-rain-collector-with-vantage-pro2-mounting-base/>. [Accessed 8 Agosto 2017].
- [60] Davis Instruments, "User Manual. Rain Collectorwith Mountable Base.," 2017. [Online]. Available: https://www.davisnet.com/product_documents/weather/manuals/07395-294_IM_6465.pdf. [Accessed 8 Agosto 2017].
- [61] EMLID, "REACH, RTK GNSS module.," 2017. [Online]. Available: <https://emlid.com/reach/>. [Accessed 14 Agosto 2017].
- [62] EMLID, "Tallysman multi-GNSS antenna.," 2017. [Online]. Available: <https://emlid.com/shop/tallysman-multi-gnss-antenna/>. [Accessed 14 Agosto 2017].
- [63] SIM Com, "SIM800_Hardware Design_V1.08," 5 Marzo 2015. [Online]. Available: http://simcom.ee/documents/SIM800/SIM800_Hardware%20Design_V1.08.pdf. [Accessed 15 Diciembre 2017].
- [64] SparkFun Electronics Inc, "XBee Pro 900 RPSMA," 2013. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/retired/9099>. [Accessed 22 Septiembre 2017].
- [65] Digi International Inc., "XCTU. Next Generation Configuration Platform for XBee/RF Solutions.," 2017. [Online]. Available: <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>. [Accessed 27 Diciembre 2017].
- [66] DSE HI BOX, "EN-OOO-1520, EN-AG-1520," 2001. [Online]. Available: http://www.dsehibox.com/english/product/read.php?table=product&p_name=&size=mm_size&p_size=&p_natural=AG&p_group=Economy%20Box&page=1&uid=299&m ode=read. [Accessed 19 Diciembre 2017].
- [67] Keysight Technologies, "E3620A and E3630A. Non-programmable DC Power Supplies.," 1 Diciembre 2017. [Online]. Available: <https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5968->

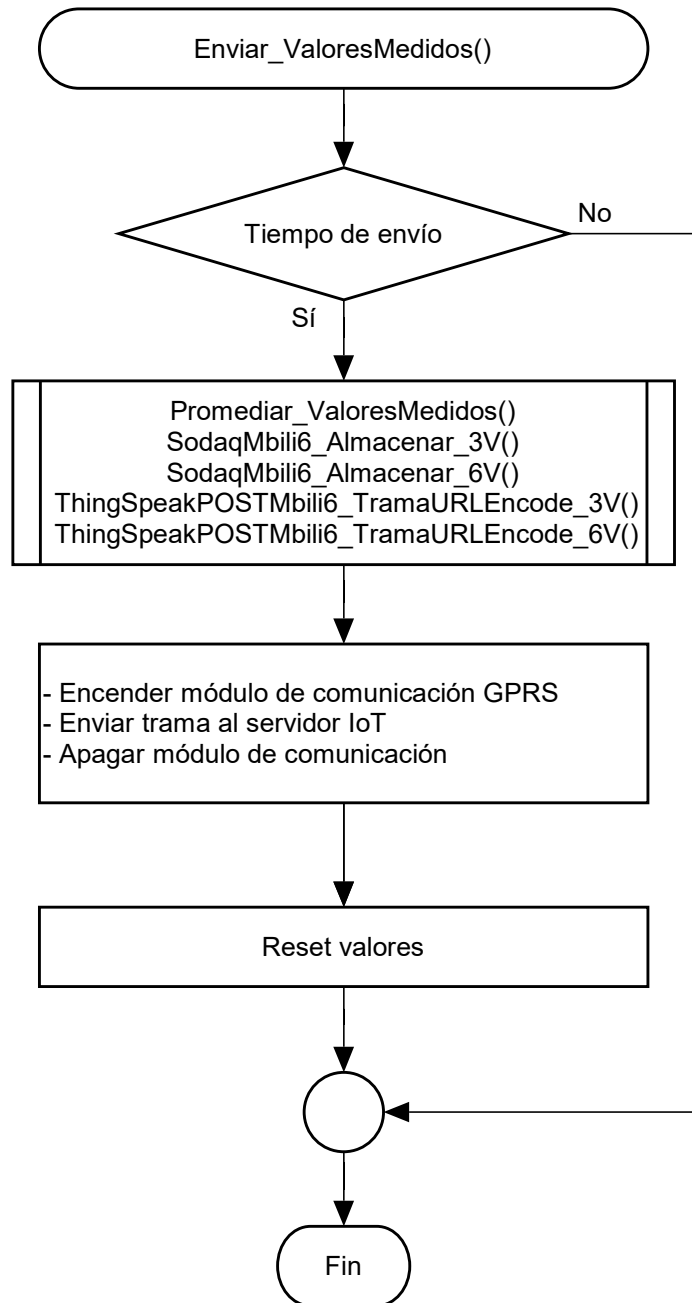
- 9727EN.pdf?id=1000070544:epsg:dow. [Accessed 14 Enero 2018].
- [68] Keysight Technologies , "Digital Multimeters.," 17 Septiembre 2017. [Online]. Available: <https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5991-1983EN.pdf?id=2318052>. [Accessed 14 Enero 2018].
- [69] PKCELL, "Mouser," 2016. [Online]. Available: https://www.mouser.com/ds/2/737/C450_-_ICR18650_6600mAh_3.7V_20140729-932760.pdf. [Accessed 18 Enero 2018].
- [70] CONELEC, "Atlas solar del Ecuador," 2008. [Online]. Available: <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>. [Accessed 18 Enero 2018].
- [71] Adafruit, "Huge 6V 6W Solar panel - 6.0 Watt," 2017. [Online]. Available: <https://www.adafruit.com/product/1525>. [Accessed 18 Enero 2018].
- [72] M. Jaramillo and B. Zárate, "Establecimiento y materialización de una red topográfica de alta precisión en la UTPL.," Diciembre 2014. [Online]. Available: <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/11183/1/JARAMILLO%20QUITO%20MERCEDES%20GABRIELA.pdf>. [Accessed 19 Diciembre 2017].
- [73] SODAQ, "Shop Sodaq Autonomo.," 2017. [Online]. Available: <https://shop.sodaq.com/en/sodaq-autonomo.html>. [Accessed 1 Agosto 2017].
- [74] Van der Lee Vineyard, "Proyecto Vinduino.," 2017. [Online]. Available: <http://vanderleevineyard.com/vineyard-blog.html>. [Accessed 19 Mayo 2017].
- [75] Van der Lee Vineyard, "Vinduino remote sensor station board.," Agosto 2016. [Online]. Available: <https://www.tindie.com/products/Reinier/vinduino-remote-sensor-station-board/>. [Accessed 1 Agosto 2017].
- [76] Bluetooth, "Bluetooth.," 2017. [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/>. [Accessed 3 Julio 2017].

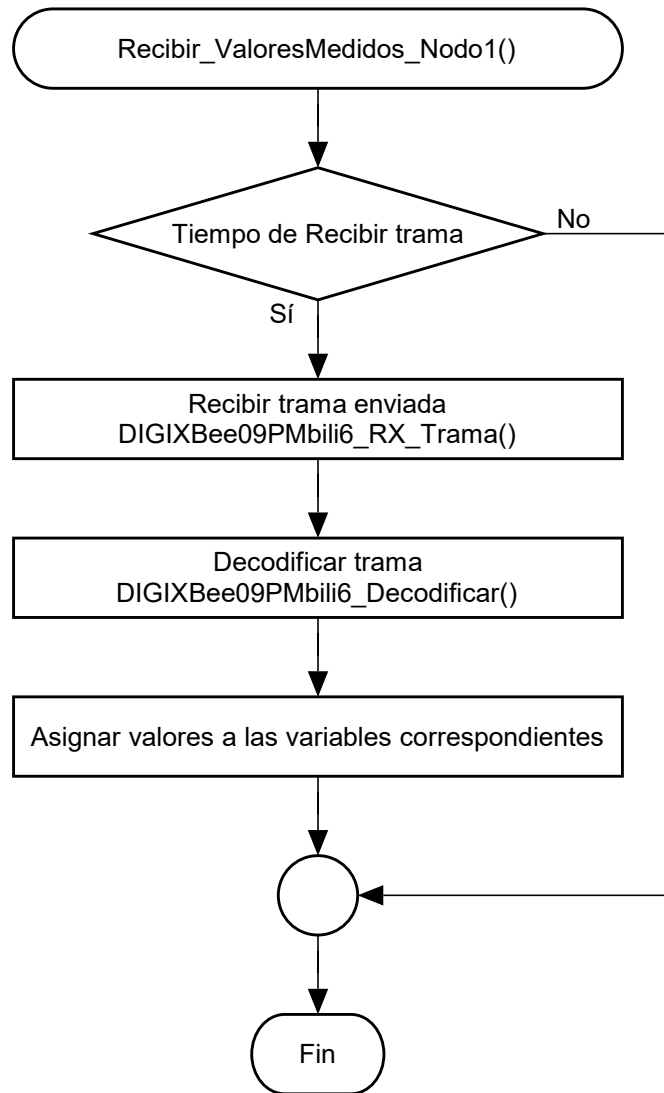
ANEXOS

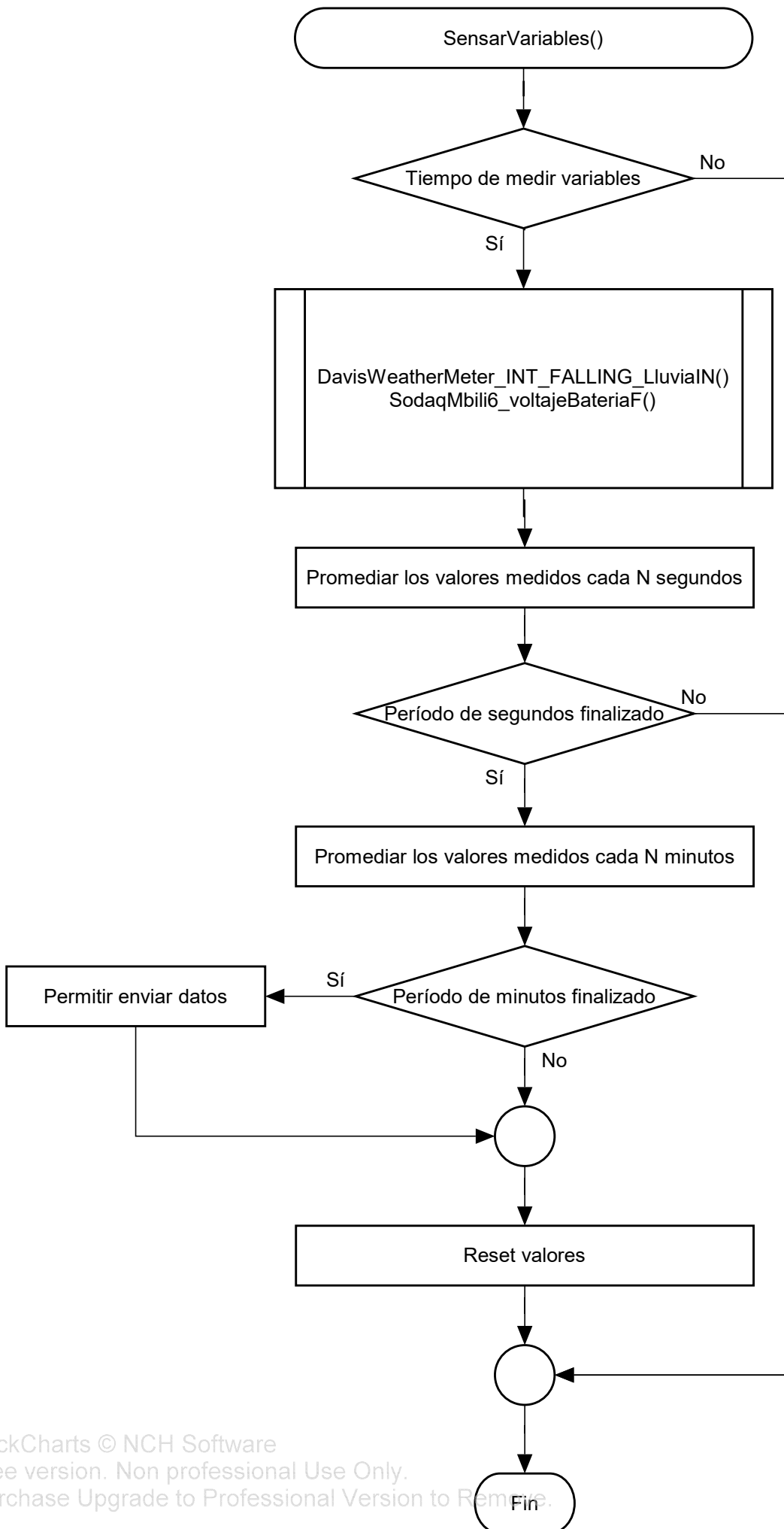


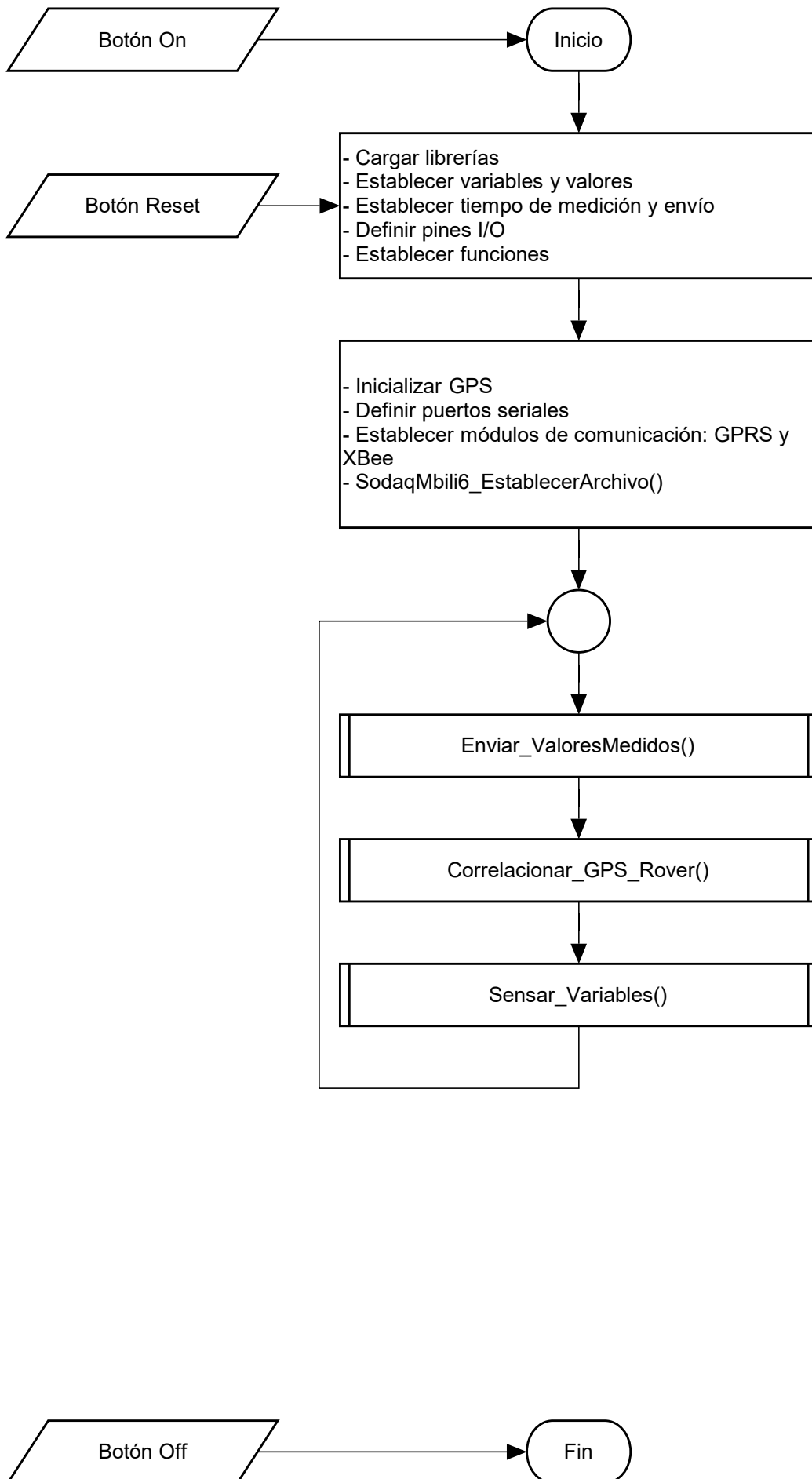
Diseño:	UTPL
Gabriela Mendieta	Tesis_WSN_LS_2
Darío Valarezo	18/12/2017 00:06
	Sheet: 1/1
	1.0

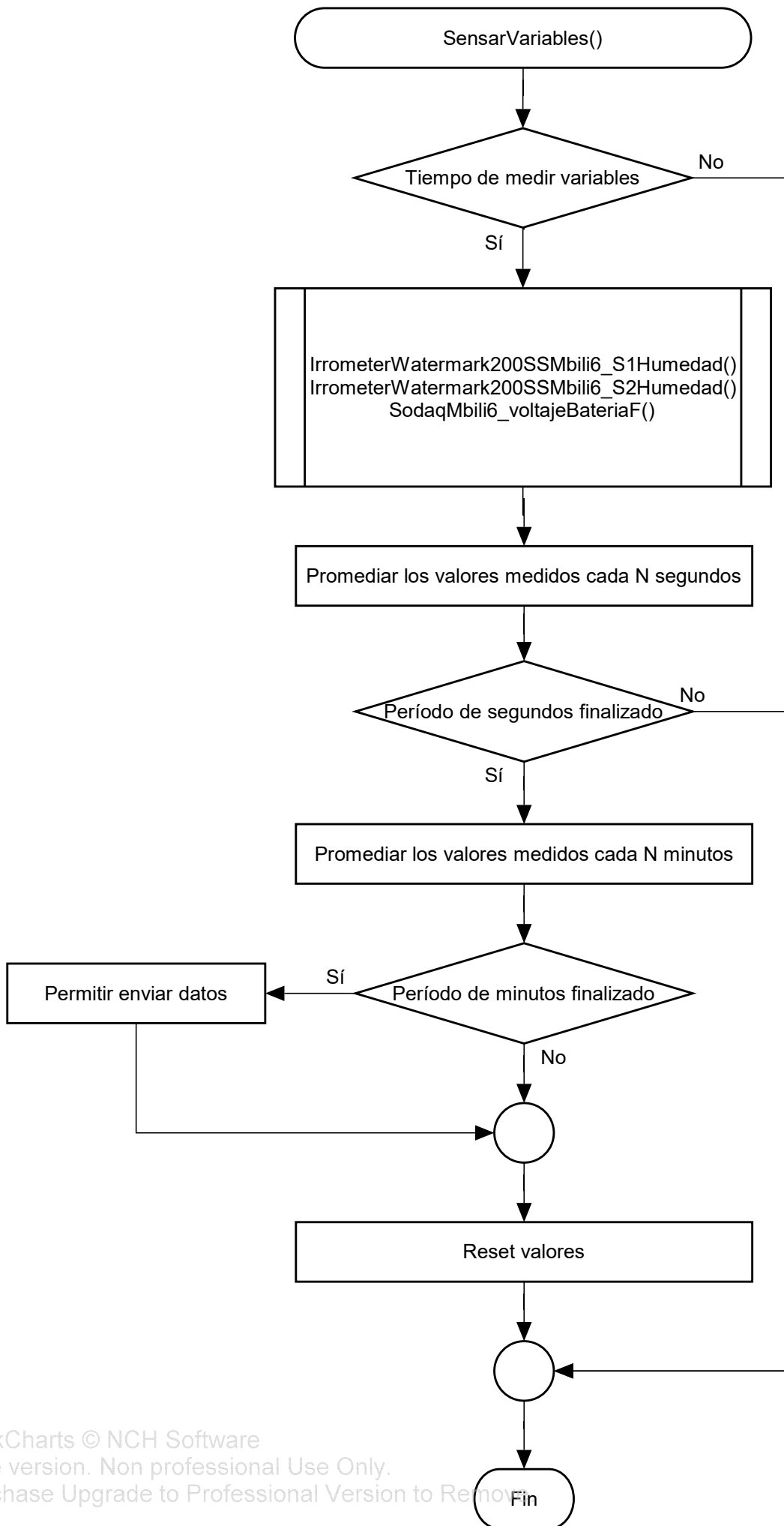


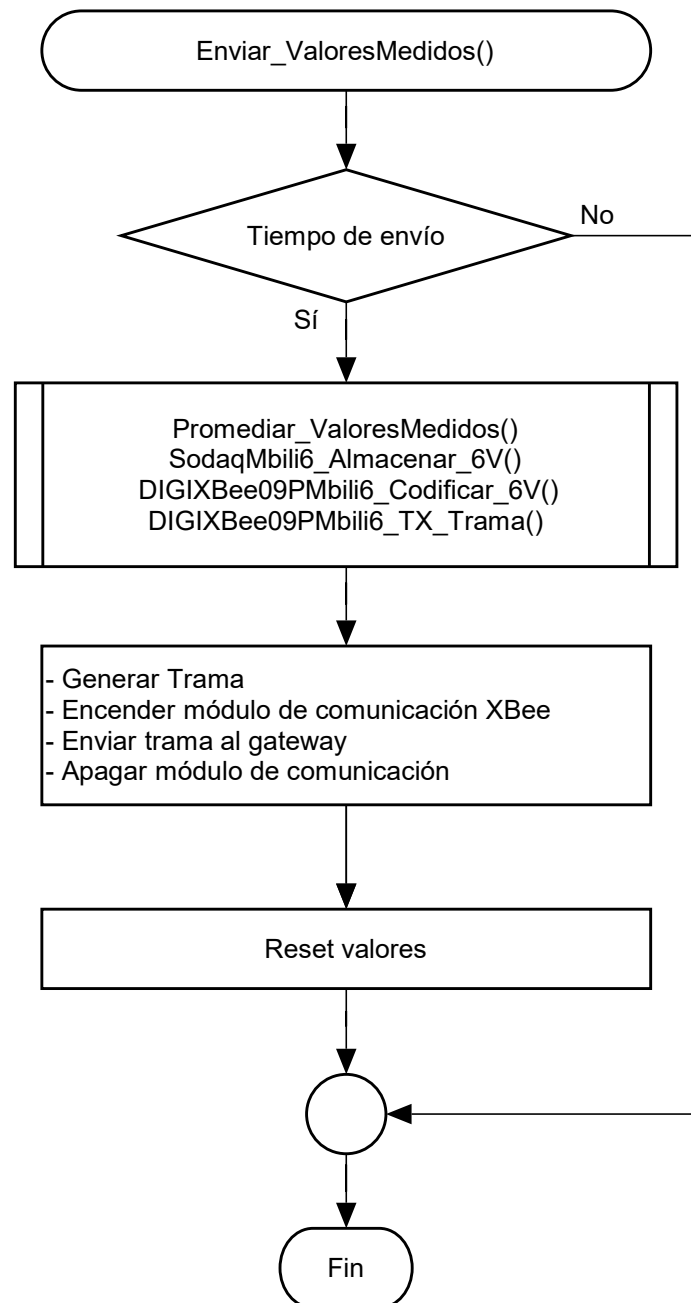












ANEXO D Subrutinas empleadas en cada elemento del sistema

