



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: IDENTIFICACIÓN DE MICROCLIMAS CON REDES
INALÁMBRICAS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS
FUERZAS ARMADAS – ESPE, CAMPUS SANGOLQUÍ
MEDIANTE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE
VARIABLES AMBIENTALES (TEMPERATURA, HUMEDAD Y
LUMINOSIDAD)**

AUTOR: RODRÍGUEZ MUYULEMA CRISTIAN MIGUEL

DIRECTOR: ING. TRIVIÑO CEPEDA ROBERTO DANIEL

SANGOLQUÍ

2017



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificó que el trabajo de titulación, **“IDENTIFICACIÓN DE MICROCLIMAS CON REDES INALÁMBRICAS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, CAMPUS SANGOLQUÍ MEDIANTE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES (TEMPERATURA, HUMEDAD Y LUMINOSIDAD)”**, realizado por la Sr. **CRISTIAN MIGUEL RODRÍGUEZ MUYULEMA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado en el Software anti-plagio, el mismo cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la Sr. **CRISTIAN MIGUEL RODRÍGUEZ MUYULEMA** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Julio del 2017.

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Daniel Triviño'.

Ing. Daniel Triviño
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, CRISTIAN MIGUEL RODRÍGUEZ MUYULEMA, con cédula de identidad No. 1718518218 declaro que este trabajo de titulación **“IDENTIFICACIÓN DE MICROCLIMAS CON REDES INALÁMBRICAS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, CAMPUS SANGOLQUÍ MEDIANTE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES (TEMPERATURA, HUMEDAD Y LUMINOSIDAD)”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado derechos intelectuales de terceros, considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, Julio del 2017.

Cristian Miguel Rodríguez Muyulema
C.I. 1718518218



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, CRISTIAN MIGUEL RODRÍGUEZ MUYULEMA, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar en la biblioteca virtual de la Institución el presente trabajo de titulación “IDENTIFICACIÓN DE MICROCLIMAS CON REDES INALÁMBRICAS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, CAMPUS SANGOLQUÍ MEDIANTE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES (TEMPERATURA, HUMEDAD Y LUMINOSIDAD)”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Julio del 2017

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'C. Rodríguez'.

Cristian Miguel Rodríguez Muyulema
C.I. 1718518218

DEDICATORIA

Primeramente quiero dedicarle este trabajo a Dios, porque considero que es la razón de mi existencia, así como también la existencia de mis seres queridos y el mundo.

A mis padres, hermanos y amigos, ya que han estado y estarán siempre a mi lado brindándome su apoyo de forma incondicional durante toda mi vida. Gracias a todos ustedes ahora soy la persona que todos conocen, porque han sido un una parte muy importante de mi vida.

Rodríguez Muyulema Cristian Miguel

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todas las que personas que me apoyaron. Por esto agradezco a nuestro director, Ing. Daniel Triviño, a mis amigos y mi persona, quienes a lo largo de este tiempo me han apoyado incondicionalmente. A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Rodríguez Muyulema Cristian Miguel

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación e Importancia.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. General	4
1.3.2. Específicos	5
1.4. Alcance del proyecto	5
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Microclimas en ambientes exteriores y su influencia las actividades humanas	7
2.1.1 Influencias de factores abióticos en los microclimas.....	9
2.1.2 Influencia de edificaciones y actividad humana en los microclimas .	9
2.2 Monitorización de microclimas	10
2.3 Sistemas de redes de sensores inalámbricos.....	12
2.4 Ciudades inteligentes y el ecosistema.....	14

2.5	Modelos determinísticos de interpolación espacial.....	15
CAPÍTULO III.....		17
DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA		17
3.1	Requerimientos de diseño.....	17
3.1.1	Descripción de Hardware	17
3.1.1.1	Sensores.....	18
3.1.1.2	Unidad de Control	19
3.1.1.3	Comunicaciones	19
3.1.1.4	Energía	20
3.1.1.5	Carcasa	20
3.1.1.6	Servidor	21
3.1.1.7	Dispositivos de puntos de acceso	21
3.1.2	Requerimientos de Software	21
3.1.2.1	Requerimientos funcionales	21
3.1.2.2	Requerimientos no funcionales	23
3.2	Selección de los elementos del dispositivo de medición.....	24
3.2.1	Caracterización.....	24
3.2.1.1	Sensor de temperatura y humedad	24
3.2.1.1.1	Evaluación del sensor temperatura.....	24
3.2.1.1.2	Evaluación del sensor de humedad	25
3.2.1.1.3	Relación temperatura y humedad.....	26
3.2.1.2	Sensor de luminosidad	27
3.2.1.2.1	Evaluación del sensor de luminosidad	27
3.2.1.3	Módulo inalámbrico WiFi.....	28
3.2.1.3.1	Evaluación módulo WiFi	29
3.2.1.3.1.1	Facilidad de manejo.....	29

3.2.1.3.1.2	Actualización de firmware	29
3.2.1.3.1.3	Inicialización de módulo y uso de comando AT.....	31
3.3	Descripción de los elementos del dispositivo de medición	31
3.3.1.1	DTH11.....	31
3.3.1.2	BH1750	32
3.3.1.3	Módulo WiFi ESP8266 ESP-01	33
3.4	Diseño de Hardware	33
3.4.1	Hardware libre.....	33
3.4.1.1	Arduino UNO	34
3.4.2	Carcasa	35
3.4.2.1	Abrigo meteorológico o caja tipo Stevenson	35
3.5	Diseño Software.....	38
3.5.1	Programa de Arduino	38
3.5.1.1	Entorno de desarrollo IDE.....	38
3.5.2	Plataforma Web.....	39
3.5.3	Servidor Web.....	43
CAPÍTULO IV.....		44
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN.....		44
4.1	Arquitectura del sistema de monitorización	44
4.1.1	Escenario para el sistema de monitorización	44
4.1.2	Desarrollo del programa de Arduino.....	47
4.1.3	Implementación del dispositivo de medición.....	53
4.1.4	Desarrollo de la plataforma Web	53
4.1.5	Análisis de información de la base de datos	56
4.1.6	Definición de protocolos de pruebas	58
4.1.6.1	Prueba 1: Sensores	58
4.1.6.2	Prueba 2: Comunicaciones	58

4.1.6.3	Prueba 3: Almacenamiento	59
4.1.6.4	Prueba 4: Sistema de Monitorización de Variables.....	60
4.1.6.5	Prueba 5: Análisis de Datos	61
4.1.6.6	Prueba 6: Identificación usando Arcgis	61
CAPÍTULO V		62
PRUEBAS Y RESULTADOS		62
5.1	Recolección de datos por el dispositivo de medición.....	62
5.1.1	Sensores.....	62
5.1.2	Comunicaciones	63
5.1.3	Almacenamiento.....	64
5.1.4	Sistema de Monitorización de Variables.....	65
5.1.5	Análisis de Datos.....	68
5.1.6	Identificación usando Arcgis.....	70
5.2	Sistema de monitorización y la identificación de microclimas	72
5.2.1	Resultados Obtenidos	72
CAPÍTULO VI.....		91
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS		91
6.1	Conclusiones.....	91
6.2	Recomendaciones	93
6.3	Trabajos futuros	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		95
ANEXOS.....		105
Anexo 1		105
Anexo 2.....		106
Anexo 3.....		108
Anexo 4.....		109

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Escala de estudio de climatología.....	8
Tabla 2. Requerimientos de sensores.....	18
Tabla 3. Requerimientos de la unidad de control.....	19
Tabla 4. Requerimientos para las comunicaciones.....	19
Tabla 5. Requerimientos de alimentación.....	20
Tabla 6. Requerimientos Servidor.....	21
Tabla 7. Sensores propuestos.....	24
Tabla 8. Dimensiones de la caja de Stevenson.....	37
Tabla 9. Tipos de datos de los atributos.....	42
Tabla 10. Características Infranetworking.....	43
Tabla 11. Zonas de estudio.....	45
Tabla 12. Componentes del código de programa Arduino.....	48
Tabla 13. Parámetros de conexión para la prueba de comunicaciones.....	63
Tabla 14. Resultados MANOVA de Temperatura.....	68
Tabla 15. Resultados MANOVA de Humedad.....	69
Tabla 16. Resultados MANOVA de Luminosidad.....	70
Tabla 17. Medias, máximos y mínimos semanales de temperatura (°C) del 4 desde Abril al 2 de Mayo del 2017.....	76
Tabla 20. Medias, máximos y mínimos semanales de humedad.....	81
Tabla 21. Referencia de luminosidad según (Llamas, 2016).....	83
Tabla 23. Promedios semanales de luminosidad.....	84
Tabla 24. Clasificación climática según (IDEAM & FOPAE, s. f.).....	88

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de las personas en ambientes exteriores según los microclimas según (Chen & Ng, 2012).	8
Figura 2. Topología de red WiFi.....	13
Figura 3. Diagrama general de bloques del dispositivo de medición.	17
Figura 4. Esquema general del sistema de monitorización.....	17
Figura 5. DTH11 vs LM35.	25
Figura 6. DTH11 vs HR202.....	26
Figura 7. Relación entre temperatura y humedad.	27
Figura 8. BH1750 VS LDR.	28
Figura 9. Comparativa ESP8266-01 vs ESP8266-12	29
Figura 10. Conexión modo Flash Boot módulo WiFi ESP8266-01.	30
Figura 11. Conexión modo Flash Boot módulo WiFi ESP8266-12F.	30
Figura 12. Sensor de Temperatura y Humedad DTH11.	32
Figura 13. Sensor de luz BH1750.	32
Figura 14. ESP8266 ESP-01.	33
Figura 15. Diagrama del diseño de hardware.	33
Figura 16. Diagrama general de conexión del dispositivo de mediciones.....	35
Figura 17. Esquema de diseño de caja tipo Stevenson.	38
Figura 18. Diagrama de flujo del código de programa.	39
Figura 19. Front-End y Back-End.....	40
Figura 20. Boceto general páginas Web.	41
Figura 21. Modelo entidad-relación para la BD.	42
Figura 22. Escenario sistema de monitorización.	44
Figura 23. Campus Sangolqui de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE... ..	46
Figura 24. Zonas de estudio.	47
Figura 25. Método para envío de comandos AT.....	49
Figura 26. Diagrama de flujo de encendido módulo WiFi.	50
Figura 27. Diagrama de flujo para el envío de datos.	50
Figura 28. Diagrama de envío y muestra de datos.	51
Figura 29. Diseño de base de datos.....	52

Figura 30. Secuencia de envío y recepción de datos.....	52
Figura 31. Dispositivo de medición.	53
Figura 32. Diagrama de la plataforma.	54
Figura 33. Diagrama de secuencia para las zonas de estudio.	55
Figura 34. Diagrama de secuencia de la gráfica de variables.	55
Figura 35. Diagrama de secuencia para descargar información almacenada.	56
Figura 36. Secuencia de clasificación de datos.....	57
Figura 37. Secuencia de análisis en Arcgis.....	57
Figura 38. Comando ping.	59
Figura 39. Comando de consulta en MySQL.....	60
Figura 40. Esquema de prueba.....	61
Figura 41. Resultados obtenidos del sensado en el monitor serial.....	62
Figura 42. Resultado obtenido de la ejecución del comando ping.....	64
Figura 43. Resultados obtenidos del envío y almacenamiento de datos.....	65
Figura 44. Resultados obtenidos de la prueba del sistema.....	66
Figura 45. Resultado obtenido de la opción Guardar Datos.	67
Figura 46. Resultado de SPSS.....	68
Figura 47. Resultados de SPSS.....	69
Figura 48. Resultados de SPSS.....	70
Figura 49. Gráficos de dispersión (TEMXHUM, TEMXLUM, HUMXLUM) Z1...	71
Figura 50. Esquema general del análisis de información.....	72
Figura 51. Página de inicio de la Plataforma Web.....	73
Figura 52. Zona Residencia.	74
Figura 53. Temperaturas máximas y mínimas de las mediciones de un día.....	76
Figura 54. Comportamiento diario de la temperatura.	78
Figura 55. Distribución diaria temporal de temperatura en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE durante un día.	79
Figura 56. Distribución diaria temporal de humedad.	80
Figura 57. Distribución temporal de humedad para las mediciones de un día.	81
Figura 58. Distribución diaria temporal de humedad.	82
Figura 59. Iluminación solar del día respecto al sensor BH1750.	83
Figura 60. Distribución diaria temporal de luminosidad.	85

Figura 61. Distribución temporal de luminosidad para las mediciones de un día.	86
Figura 62. Distribución diaria temporal de luminosidad.	87
Figura 63. Microclimas campus Sangolquí.	90

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se enfoca en la identificación de microclimas usando redes inalámbricas y un sistema de monitorización y recolección de variables ambientales como: temperatura, humedad y luminosidad; factores abióticos que influyen en los microclimas de ciudades, conjuntos habitacionales o campus universitarios. Debido a la variación microclimática de ciertas zonas en una ciudad, estas variables traen consecuencias que influyen en el hábitat de ciertas especies (animales y vegetales), para este proyecto de investigación se ha definido como sitio de estudio para el análisis la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Campus Sangolquí, que usando la red inalámbrica permite realizar mediciones de los factores abióticos (temperatura, humedad y luminosidad), a través del uso de placas de desarrollo en hardware libre y módulos de sensores de temperatura, humedad y luminosidad, así como también de un módulo WiFi para la conexión inalámbrica, el cual se encarga del envío de los datos hacia un servidor Web en la nube de Internet. El sistema de monitorización almacenará esta información dentro de una base de datos, para su posterior análisis y visualización mediante gráficas de líneas de tiempo y mapas de las zonas. Una vez obtenidos los datos y luego de un análisis se puede conocer la influencia directa que tienen los factores abióticos en la variación microclimática de las zonas de estudio en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, lo que permite determinar las condiciones en las que se encuentran estas zonas y como la variación microclimática del campus universitario puede influir en la vegetación, salud y confort de las personas y la nueva distribución de infraestructuras, entre otros.

PALABRAS CLAVE:

- **MICROCLIMAS**
- **MONITORIZACIÓN**
- **ABIÓTICOS**
- **SERVIDOR**
- **VARIACIÓN**

ABSTRACT

The present research project focuses on the identification of microclimates using wireless networks and a system for monitoring and collecting environmental variables such as temperature, humidity and luminosity; Abiotic factors that influence the microclimates of cities, housing complexes or university campuses. Due to the microclimatic variation of certain zones in a city, these variables have consequences that influence the habitat of certain species (animals and plants), for this research project has been defined as site of study for analysis the Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Sangolquí Campus, which uses the wireless network to measure abiotic factors (temperature, humidity and luminosity) through the use of development boards in free hardware and modules sensor of temperature, humidity and luminous and a WiFi module for the wireless connection, which is responsible for sending the data to a Web server in the Internet cloud. The monitoring system will store this information within a database, for later analysis and visualization by means of graphs of time lines and maps of the zones. Once obtained the data and after an analysis can be known the direct influence that abiotic factors have on the microclimatic variation of the study areas at the Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, which allows to determine the conditions in which Find these areas and how the microclimatic variation of the university campus can influence the vegetation, health and comfort of people and the new distribution of infrastructures, among others.

KEYWORDS:

- **MICROCLIMATES**
- **MONITORING**
- **ABIOTICS**
- **SERVER**
- **VARIATION**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

En áreas urbanas, los patrones climáticos están siendo caracterizados por el uso del suelo, el cubrimiento de áreas verdes y las formas urbanas de la infraestructura que se construye, esto ha alterado los patrones climáticos tradicionales dentro de ciudades, complejos urbanísticos, campos universitarios y áreas urbanas pobladas.

La calidad y tipo de espacios exteriores tiene un impacto en los elementos ambientales, sin embargo la variación de los factores influyentes en los microclimas conducen a la falta de comprensión del entorno local, reduciendo la atracción y la tasa de utilización de los espacios exteriores; restringiendo así las actividades al aire libre de las personas.

El propósito de la identificación de los microclimas es mantener informada a las personas para que puedan hacer uso de los espacios abiertos en el entorno, así también vistán la indumentaria adecuada para cada tipo de microclima que se encuentra.

Según Camargo Ponce de León (2008), las actividades humanas son causas altamente influyentes que intervienen directamente con los cambios microclimáticos de cada sitio. Por otro lado Tumini (2014), en su estudio presenta que el cambio de temperatura que se produce en las ciudades es generado por varios factores como la capa de asfalto y cemento que cubre el suelo de la ciudad, edificios que crean sombras, reflexión de la luz por grandes ventanales, el calentamiento o enfriamiento artificial, niveles de contaminación, entre otros. Esto hace que en las ciudades se formen microclimas por zonas, que es diferente al clima natural que rodea a la ciudad.

Además se define a Quito como una ciudad afamada por sus microclimas. Cada sector geográfico de esta alargada ciudad posee un clima particular que lo diferencia de otros. De ahí que resulta bastante común que haya una radiante tarde de sol en el centro-norte, mientras llueve en el sur, hay sol y sombra en el valle y la neblina se aposenta sobre San Antonio de Pichincha y la Mitad del Mundo, definido por (Núñez Sánchez, 2016) .

Dentro del Distrito Metropolitano de Quito se pueden distinguir hasta 15 tipos de clima, los cuales son según (Sistema Información Geográfica y Agropecuaria [SIGAGRO], 2004):

- Tropical lluvioso: >22 grados Celsius.
- Tropical megatérmico muy húmedo: >22 grados Celsius.
- Tropical megatérmico húmedo: >22 grados Celsius.
- Subtropical mesotérmico lluvioso 18-22 grados Celsius.
- Subtropical mesotérmico húmedo: 18-22 grados Celsius.
- Subtropical mesotérmico semihúmedo: 18-22 grados Celsius.
- Subtropical mesotérmico seco (Templado seco): 18-22 grados Celsius.
- Ecuatorial mesotérmico muy húmedo: 12-18 grados Celsius.
- Ecuatorial mesotérmico húmedo: 12-18 grados Celsius.
- Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo: 12-18 grados Celsius.
- Ecuatorial mesotérmico seco 12-18 grados Celsius.
- Ecuatorial frío muy húmedo: 8-12 grados Celsius.
- Ecuatorial frío húmedo: 8-12 grados Celsius.
- Páramo: 4-8 grados Celsius.
- Nival: <4 grados Celsius.

Incluso estos microclimas se pueden determinar en zonas más pequeñas como conjuntos habitacionales o campus universitarios donde los factores de temperatura, humedad y luminosidad pueden variar drásticamente comparados con la media de la zona. Las temperaturas, las lluvias y los vientos de una zona determinan su clima, pero en zonas pequeñas hay que tener en cuenta los microclimas que generan la sombra de árboles o muros, las corrientes de aire o la humedad del suelo, según (Fundación EROSKI, 2002). En otro artículo Suming, Qisu, Ziyang, & Hanjie (2017), estudiaron la relación entre los elementos del espacio exterior del Campus XianLin de la Universidad de Nanjung y el nivel de comodidad de los microclimas. De la misma manera Hwang, Lin, & Matzarakis (2009), estudian el efecto de sombreado en ambientes térmicos mediante el análisis de la distribución microclimática dentro del campus de la Universidad Nacional Formosa.

1.2. Justificación e Importancia

En la actualidad, según Fundación CANNA, (2017), los factores abióticos como: temperatura, humedad, velocidad del viento e intensidad de luz son de gran importancia en la monitorización de las variaciones microclimáticas. Para mejorar el control de las condiciones ambientales es necesario contar con sistemas de monitoreo, ya que en lugares como: granjas, invernaderos, centros de cómputo, hospitales, campus estudiantiles y conjuntos habitacionales; los microclimas son influenciados en gran parte por estos factores ambientales.

Existen varios estudios realizados respecto al análisis de microclimas donde Vargas (2010) presenta, el monitoreo de humedad y temperatura en colecciones biológicas con herramientas de software libre utilizando un sensor de bajo costo TEMPerHUM y una conexión Ethernet. Hernández Rangel, Pineda, & Bayona Ruiz (2009), realiza un sistema de control de humedad y temperatura para invernaderos, el cual controla con precisión la humedad y temperatura entre otros factores climáticos, utilizando un sensor SHT11 con comunicación inalámbrica libre de 2.4 GHz, que ocupa como núcleo un microcontrolador Microchip. De la misma manera Schugurensky & Capraro (2008) realiza un control automático de riego agrícola con sensores capacitivos de humedad de suelo, aplicaciones en vid y olivo. Por otro lado Meléndez Cruz & Cano (2015), diseñaron un sistema portátil de monitoreo de temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y altitud utilizando el protocolo Wi-Fi, el cual almacena los datos en una tarjeta micro SD.

Los sistemas de sensado en conjunto con las redes de sensores inalámbricos generan nuevas herramientas tecnológicas, las cuales ayudan a monitorizar, evaluar y entender las variaciones existentes en los cultivos causadas por los microclimas. Enfocadas en la agricultura de precisión, según López Riquelme (2011), se analiza la contribución de las redes de sensores inalámbrica y soluciones hardware para agricultura de precisión.

Según Cama Pinto, De la Hoz Franco, & Cama Pinto (2012), en su trabajo sobre las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas, en el cual menciona que las redes de sensores inalámbricos permiten monitorizar cualquier entorno por inaccesible y recóndito que parezca, tal y como lo haría una red de insectos, los nodos

de sensores se distribuyen en el terreno y trabajan de forma coordinada para monitorizar los parámetros elegidos.

Dentro de los estudios nombrados anteriormente, existen ciertos temas asociados a los sistemas de monitoreo y a las redes de sensores inalámbricos que aún no han sido tratados como son:

- Desarrollo de algoritmos más eficientes y óptimos para la recolección y envío de datos.
- Uso de hardware con mayores prestaciones y servicios como por ejemplo: placas de hardware abierto como Arduino, Raspberry, Tynse entre otros.
- Seguridad del acceso a la información recolectada.
- Sensado simultaneo de variables y obtención datos.
- Uso de servidores para el almacenamiento y visualización de los datos.

Así en este proyecto de investigación se utilizará hardware libre con mejores prestaciones que los microcontroladores solos, como Arduino, ya que se tiene una rápida implementación de los sensores y desarrollo de código para el usuario. Además, para la recolección y envío de datos se desarrollará un algoritmo que pueda ser eficiente, tratando de que sea liviano en procesamiento y que durante el envío provea un nivel de seguridad básica de los datos. Finalmente, el desarrollo e implementación del sistema se complementa con los servidores Web y de Base de datos (BD) donde se visualizará y guardará la información obtenida de los datos del sensado de los factores abióticos (temperatura, humedad y luminosidad) para el análisis de los microclimas que existen dentro del Campus Sangolquí de la ESPE, que permiten determinar las condiciones ambientales para el control, disponer datos históricos de la variación e información para futuras investigaciones.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Identificar los microclimas en el campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE con redes inalámbricas mediante un sistema de monitorización de variables ambientales utilizando sensores electrónicos.

1.3.2. Específicos

- Evaluar la cobertura y prestaciones de la red WiFi del Campus Sangolquí.
- Definir los factores abióticos así como las zonas de análisis dentro del campus.
- Diseñar el sistema de monitorización en base a las necesidades de las zonas de estudio.
- Desarrollar los algoritmos de recopilación y envío de datos para implementar en la placa de hardware abierto.
- Implementar la plataforma para el sistema de monitorización que permita la comunicación entre los nodos de sensado y el centro de recopilación de datos (servidor).
- Diseñar los protocolos de prueba y validación de la plataforma
- Analizar los resultados obtenidos.

1.4. Alcance del proyecto

El presente trabajo de investigación tiene como primer paso, realizar el estudio y estado del arte de los temas que aborda que son: identificación de microclimas en ambientes exteriores, lo que permitirá analizar los factores influyentes en la variación del clima para poder identificar los diferentes microclimas que se manifiestan en las zonas de estudio dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, campus Sangolquí; sistemas de monitorización utilizando una red inalámbrica WiFi, pensada en una conectividad a Internet para tener mayor cobertura en las zonas de estudio y finalmente el almacenamiento de información en servidores Web, para realizar el posterior análisis luego de la recolección de datos.

El segundo paso, consiste en la caracterización de microcontroladores, sensores y servidor Web. Realizado el estudio de los diferentes elementos que conforman el sistema de monitorización, se procede al diseño electrónico del dispositivo que permitirá la medición de las variables ambientales que influyen en la identificación de microclimas.

La tecnología que se utilizará para la comunicación inalámbrica es WiFi, la cual permitirá conectarse a un punto de acceso con salida hacia Internet para establecer la comunicación con el servidor Web y almacenar los datos recolectados por los sensores de las variables abióticas.

El siguiente paso a seguir es realizar el algoritmo que permitirá la recopilación y envío de datos para la placa de hardware abierto.

Como último paso, se realizará la implementación del sistema de monitorización que permitirá la comunicación con los nodos de sensado y el centro de recopilación de datos el cual será montado en un servidor Web que cumplirá con los requerimientos.

Finalmente, al tener listo el sistema de monitorización y los dispositivos de sensado, se procede a realizar protocolos de prueba y validación de la plataforma.

Se analizarán los datos recopilados y almacenados del servidor Web, mediante la utilización de las herramientas: triángulo ecológico, soyetas medias anuales, solineas de evaporación y datos de las precipitaciones anuales de la zona de estudio; con lo cual se procede a la identificación de los microclimas de las zonas de estudio, y la elaboración de las conclusiones y recomendaciones sobre el proyecto de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Microclimas en ambientes exteriores y su influencia las actividades humanas

Se llama microclima al clima de características diferentes a las del resto de la zona en donde se encuentra. Se trata de una serie de variables atmosféricas que distinguen una zona o espacio medianamente reducido. El microclima también depende de la existencia de otra serie de variables que lo caracterizan (Guerrero, 2012)

Según Chen & Ng (2012), los espacios exteriores son importantes para la sostenibilidad de las ciudades porque contribuyen a las actividades al aire libre y a la vitalidad y habitabilidad urbana, viéndose beneficiadas tanto físicamente, ambientalmente, económicamente y en aspectos sociales. Los factores que determinan la calidad de un espacio exterior, son los microclimas que se producen en estos sitios; siendo las condiciones variantes de sol y sombra, cambios del viento, variaciones de temperatura, humedad del aire entre otras características, factores significativos que influyen los microclimas dentro del ambiente exterior.

Así, la sensación de comodidad de las personas es realmente afectada por los microclimas de las zonas en donde realizan su actividad. Siendo los microclimas un factor que también influye en las decisiones de su indumentaria para usar en espacios exteriores, como también se puede formalizar tres niveles de adaptación de comodidad en las personas: física, psicológica y fisiológica. Las condiciones microclimáticas están vinculadas con las sensaciones humanas así como con el uso de espacios exteriores.

Steffens, Ferreras, & Piccolo (2005), mencionan que es necesario el uso de una escala para el estudio de la climatología en diferentes extensiones de tierra, la cual está clasificada de acuerdo a las dimensiones horizontales y verticales de cada uno de los niveles de la misma, ver tabla 1.

Tabla 1.**Escala de estudio de climatología.**

Clima	Distribución horizontal	Distribución vertical	Ejemplo
Microclima	1 cm a 100 m	1 cm a 10 m	Clima de vivienda
Clima Local	100 m a 1 Km	10 cm a 100 m	Clima de valle
Mesoclima	1 Km a 200 Km	1 m a 6000 m	Clima de cuenca o región
Macroclima	200 Km a 50000 Km	1 m a 100 Km	Clima de continenete

Fuente: (Steffens et al., 2005)

Nikolopoulou (2002), menciona que los efectos microclimáticos son examinados para determinar las condiciones en espacios exteriores, que permite contribuir a la calidad de vida dentro de las ciudades, evitar la exclusión social y el aislamiento de las personas. Existe un amplio rango de condiciones microclimáticas en espacios al aire libre, tanto temporalmente y espacialmente, además permite determinar que un enfoque puramente fisiológico es inadecuado para caracterizar las condiciones de comodidad en las actividades en exteriores.

En la figura 1 se resume en un diagrama general, lo que Chen & Ng (2012) menciona sobre la comodidad en ambientes exteriores evaluadas en base a los aspectos del comportamiento de las personas:

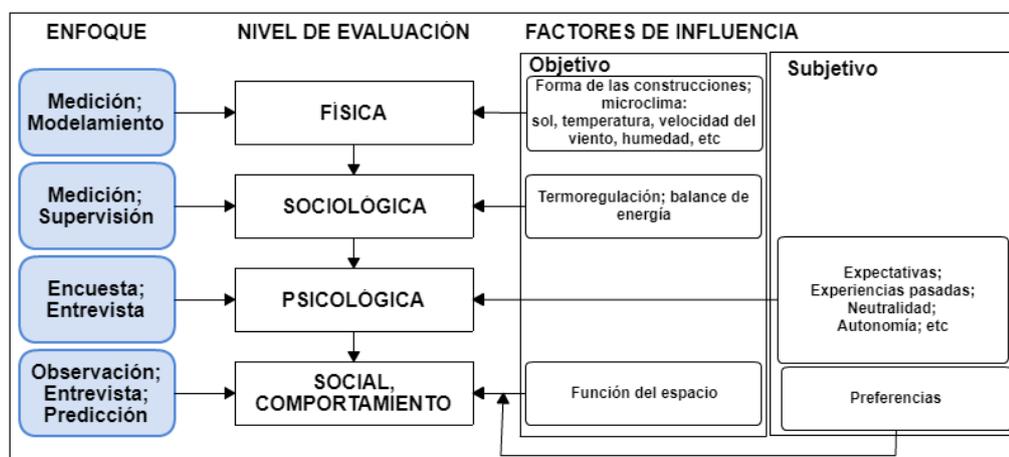


Figura 1. Comportamiento de las personas en ambientes exteriores según los microclimas según (Chen & Ng, 2012).

Fuente: Autor

Como se muestra en la figura 1, Chen & Ng, (2012) establece 4 niveles de evaluación de la adaptación de las personas cuando se encuentran en ambientes exteriores; para lo cual mediante técnicas de evaluación se estudia la relación entre el confort térmico exterior y las actividades en espacio abiertos, para determinar los factores de influencia objetivos y subjetivos relacionados con los niveles de adaptación térmica de las personas.

2.1.1 Influencias de factores abióticos en los microclimas

(Nikolopoulou & Lykoudis, 2007a), menciona que en diversas investigaciones se confirma la estrecha relación entre las condiciones microclimáticas y el uso de espacios exteriores; que se menciona en la sección anterior.

Las observaciones del uso de espacios revelan que la temperatura del aire y la radiación solar son los parámetros más dominantes en la relación con las actividades humanas, junto con la velocidad del viento y la humedad relativa del ambiente complementan los factores más influyentes para determinar los microclimas, mostrando una fuerte dependencia en los parámetros meteorológicos.

Otros factores que influyen en los cambios climáticos se listan a continuación:

- Altitud
- Latitud
- Luz Vegetación
- Nubosidad
- Precipitación
- Presión atmosférica

2.1.2 Influencia de edificaciones y actividad humana en los microclimas

Nikolopoulou, Baker, & Steemers (2001), en sus investigaciones buscan lograr una mejor comprensión de las características de los microclimas en espacios exteriores de áreas urbanas, y la implicación del confort de las personas en ellos. Las condiciones microclimáticas controlan las fuentes de disconformidad, las actividades sedentarias, el uso del transporte público, ciclismo, caminatas, entre otras actividades. Existe una influencia sobre el asentamiento urbano, factores como áreas sombreadas por

edificaciones, espacios circundantes de sol, o edificios dispersos que permiten el flujo del viento a través de los espacios en climas calientes, húmedos, etc., que son responsables de las modificaciones de los microclimas en los espacios exteriores.

Además, el sombreado de las carreteras es factible por la forma y disposición de los árboles, con la ventaja de enfriar la vía, evapotranspiración a través de las hojas o con factores externos. La variabilidad de los sitios en términos de topología, geometría y orientación responden a la intensidad de uso. Los parámetros ambientales que las personas experimentan son: temperatura del aire, radiación solar, viento y humedad; estos factores son responsable para evaluar las condiciones y niveles comodidad que experimentan las personas.

Para (Dimoudi, Kantzioura, Zoras, Pallas, & Kosmopoulos, 2013a), el microclima de un área urbana puede ser gravemente afectada por la termofísica urbana y las características geométricas, actividades antropogénicas y la presencia de fuentes de calor en el área. Estos representan factores importantes para lograr la conservación de la energía y la sostenibilidad dentro de la ciudad, donde vive gran número de personas.

2.2 Monitorización de microclimas

En la actualidad, el mundo tecnológico está enfocado en el concepto de ciudades inteligentes el cual permite mejorar el confort de la sociedad, que en los últimos años demanda más facilidades; siendo el resultado de la necesidad cada vez más imperiosa de orientar nuestra vida hacia la sostenibilidad. Así, estas ciudades se sirven de infraestructuras, innovación y tecnología para disminuir el consumo energético y reducir las emisiones de CO₂ (Acciona, 2017).

Existen varios estudios realizados en la última década sobre el tema de ambientes exteriores confortables. Los temas que destacan son: redes de sensores inalámbricos para la telemonitorización usando ZigBee y WiFi (Firdaus, Ahriman, Akbar, & Nugroho, 2014), uso de redes heterogéneas de sensores inalámbricos en un sistema de telemonitorización para la salud (Corchado, Bajo, Tapia, & Abraham, 2010), sistema de localización de interiores con RSSI medición de la red de sensores inalámbricos basada en ZigBee Standard (Sugano, Kawazoe, Ohta, & Murata, 2006), interfaz de red ZigBee y wifi en redes inalámbricas de sensores (Firdaus, Nugroho, & Sahroni, 2014),

cognición comparativa del microclima de diferentes tipos de espacios abiertos (Zhang, Zhang, Zang, Yu, & Tong, 2016), microclima y actividad en espacios abiertos (Zacharias, Stathopoulos, & Wu, 2001), y diseño de una red de sensores para la monitorización urbana del microclima (Jha, Marpu, Chau, & Armstrong, 2015).

La red de sensores inalámbricos actualmente ha incrementado la popularidad en el campo de monitorización. En el estudio realizado por Firdaus, Ahriman, et al. (2014), se presenta una aplicación de ZigBee y redes WiFi para la monitorización de microclimas, recolectando datos de velocidad del viento, temperatura y humedad los cuales son transmitidos usando ZigBee hacia un centro de monitorización que usa un transceptor WiFi. Este sistema utiliza una interfaz ZigBee – WiFi que convierte el formato de datos desde el protocolo ZigBee hacia un protocolo TCP/IP. Este trabajo expone como conclusiones que, usando una topología de mallado (tipo malla), es decir cuando uno de los nodos se encuentra apagado, se busca otro camino dentro de la malla y entonces los otros nodos pueden enviar los datos.

En el estudio realizado por Jha et al. (2015), se propone el diseño de una red de sensores para la monitorización de microclimas urbanos, con el cual se pretende manipular y mejorar los microclimas para la adaptación eficiente de las futuras infraestructuras urbana. Utilizando distintos sensores (temperatura, humedad, luminosidad, sensor de viento) y la instalación de múltiples nodos de sensores en diferentes lugares de la ciudad Abu Dhabi para recolectar el flujo de datos. Los nodos tienen la capacidad de comunicarse a Internet, utilizando el concepto del Internet de las cosas. Los resultados obtenidos por este estudio ayudan a desarrollar herramientas para identificar los microclimas de los diferentes escenarios en entornos urbanos para el diseño de sostenible y eficiente de infraestructuras urbanas en el futuro de las ciudades inteligentes.

Un área urbana es usualmente una zona llena y con alta tasa de construcciones, que bloquean no solo la iluminación, sino también influyen en el flujo de aire. Según Zhang et al. (2016), este fenómeno de densidad produce el efecto de isla de calor y el efecto isla seca, que podrían resultar en la modificación del microclima y calidad del ambiente. Frente a la situación anterior, los espacios abiertos podrían no solo proporcionar lugares para que los ciudadanos utilicen sino también mejorar el medio

ambiente en general de manera eficaz, mediante la reducción de la densidad construcción local. Se debe considerar que diferentes proporciones y diseños de pavimento y vegetación de los espacios abiertos tienen diferentes efectos en los microclimas. Los autores concluyen que, el microclima de ambientes abiertos en un centro urbano es relativamente complicado. La forma de entrada de las cuerdas y edificaciones circundantes forman diferentes zonas de sombras, que podrían afectar a los factores del microclima como la temperatura, la humedad y la intensidad de luz.

2.3 Sistemas de redes de sensores inalámbricos

CISCO (2017), establece que una red inalámbrica usa ondas de radio para conectar dispositivos como computadoras portátiles, teléfonos inteligentes, tablets, entre otros, hacia Internet y para ser usados en diversas aplicaciones. Estos dispositivos pueden conectarse mediante diferentes protocolos; siendo el más usado el estándar IEEE 802.11.

Los beneficios de usar una red inalámbrica incluyen:

- **Movilidad:** proporcionar a los usuarios de una LAN acceso a la información en tiempo real en cualquier lugar dentro de la organización o el entorno público (zona limitada) en el que están desplegadas («Redes inalámbricas», 2004).
- **Escalabilidad:** los sistemas de WLAN pueden ser configurados en una variedad de topologías para satisfacer las necesidades de las instalaciones y aplicaciones específicas. Las configuraciones son muy fáciles de cambiar y además resulta muy fácil la incorporación de nuevos usuarios a la red («Redes inalámbricas», 2004).
- **Costos:** la inversión inicial requerida para una red inalámbrica puede ser más alta que el costo en hardware de una LAN, los beneficios a largo plazo son superiores en ambientes dinámicos que requieren acciones y movimientos frecuentes («Redes inalámbricas», 2004).

Para Yick, Mukherjee, & Ghosal (2008), un sistema de red inalámbrica de sensores tiene importantes aplicaciones como la monitorización ambiental remota y seguimiento de objetivos, entre otras aplicaciones; este tipo de sistemas ha sido factible

en los últimos años debido a que los sensores son ahora pequeños, baratos e inteligentes.

La mayoría de sensores están equipados con interfaces inalámbricas lo que facilita significativamente la comunicación dentro de la red inalámbrica. Los nodos de la red pueden sensor, medir y reunir información del ambiente en la ubicación de los mismos, y pueden transmitir los datos al usuario.

La ventaja de usar una red inalámbrica de sensores es tener o no infraestructura, que consiste en el número de nodos de la red, que trabajan junto con un sistema de recolección de información. Existiendo dos tipos de sistemas: con infraestructura y sin infraestructura, ver figura 2.



Figura 2. Topología de red WiFi.

Fuente: (santiagocriollo10119, 2012)

Es por ello que para Mainwaring, Culler, Polastre, Szewczyk, & Anderson (2002), el monitoreo ambiental representa una aplicación de red de sensores inalámbricos con un enorme potencial de beneficios para las comunidades científicas y la sociedad. Como por ejemplo en espacios amplios con numerosos nodos de red se puede habilitar la recolección de un gran número de datos en escala y resolución que son dificultosos con una red de comunicación cableada; ya que con una red inalámbrica se puede llegar a lugares inaccesibles para una red cableada, es decir que no existe una conexión entre el punto de recolección y el equipo que almacene los datos.

En este tipo de red la habilidad de comunicarse entre el usuario y el nodo, incrementa la eficiencia de los sistemas de redes inalámbricas, la flexibilidad, la

escalabilidad de la red entre otras ventajas. Sin embargo una de las mayores desventajas de este tipo de red es el alcance del dispositivo inalámbrico para establecer una conexión con la red.

Además que tanto en redes cableadas y redes inalámbricas tienen vulnerabilidades en sus sistemas como es el caso de la conectividad y disponibilidad del servicio ya que depende de factores externos como los proveedores del servicio de internet de ser el caso, la alimentación eléctrica de los dispositivos (nodos, equipo principal del sistema y gateway), entre otros.

2.4 Ciudades inteligentes y el ecosistema

Una *Smart City*, o ciudad inteligente, se puede describir como aquella ciudad que aplica las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) con el objetivo de proveerla de una infraestructura que garantice:

- Un desarrollo sostenible.
- Un incremento de la calidad de vida de los ciudadanos.
- Una mayor eficacia de los recursos disponibles.
- Una participación ciudadana activa.

Por lo tanto, son ciudades sostenibles económicas, social y medioambientalmente. La ciudad inteligente nace de la necesidad de mantener una armonía entre estos aspectos (Enel S.A., 2014)

Para Schaffers et al. (2011), el Internet y las tecnologías de banda ancha son muy importantes para el desarrollo urbano mientras las ciudades están incrementando el uso de TICs, en ámbitos como la salud, el medio ambiente y los negocios.

Dentro del desarrollo de una ciudad inteligente se encuentran factores como Caragliu, Bo, & Nijkamp (2011):

- La utilización de la infraestructura de red para mejorar la economía, la eficiencia política y permitir el desarrollo social, cultural y urbano.
- Mayor énfasis en el desarrollo urbano impulsado por las empresas.
- Lograr la inclusión social de varios residentes urbanos en servicios públicos.

- Crecimiento de las industrias creativas y de alta tecnología.
- Profunda atención en el rol social y la relación capital en el desarrollo urbano.
- Sostenibilidad social y ambiental como un componente estratégico de las ciudades inteligentes.

2.5 Modelos determinísticos de interpolación espacial.

Para determinar el comportamiento climatológico de una zona, el software de Sistemas de Información Geográfica (SIG), utiliza herramientas de análisis espacial para calcular estadísticas de las entidades y realizar actividades de geoprocésamiento, como la que se describe a continuación.

Interpolación espacial

Interpolación predice valores para las células en una trama de un número limitado de puntos de datos de la muestra. Se utiliza para predecir los valores desconocidos para cualquier punto geográfico, entre los cuales se menciona datos como: elevación, precipitaciones, concentraciones químicas, niveles de ruido, temperatura, humedad, luminosidad, entre otros. La interpolación se basa en la suposición de que los objetos distribuidos espacialmente están correlacionados espacialmente; es decir, las cosas que están muy juntos tienden a tener características similares. Es importante entender que los valores interpolados son sólo aproximaciones de los valores reales de la superficie y que los valores interpolados varían dependiendo del método de interpolación utilizado. (MrVinicio1978, 2015).

Modelo determinístico

Los modelos de interpolación determinísticos calculan un valor para celda de la cuadrícula usando únicamente las propiedades físicas de las muestras medidas puntualmente (Goovaerts, 1997).

Estos modelos usan funciones matemáticas para predecir los valores desconocidos; y a partir de ellos crean superficies de los puntos medidos basándose en la extensión de la similitud (ponderación por la distancia inversa [IDW]) o en el grado de suavidad (funciones de base radial). Las técnicas de interpolación determinísticas se pueden dividir en dos grupos: globales y locales. Las técnicas globales calculan las predicciones usando todo el conjunto de datos. Las técnicas locales calculan las predicciones a partir de los puntos medidos incluidos en las vecindades, que son áreas espaciales más pequeñas dentro del área de estudio global (Esri, 2017).

CAPÍTULO III

DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

3.1 Requerimientos de diseño

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se debe tomar en cuenta los requerimientos y los materiales mínimos necesarios para la implementación, tanto en hardware como en software.

3.1.1 Descripción de Hardware

En esta sección se describe el hardware y las características mínimas necesarias para la implementación del sistema de monitorización, que utilizan los servidores y dispositivos de medición en las zonas de estudio, en la figura 3 se muestra el diagrama general de bloques del dispositivo de medición y en la figura 4 se muestra el esquema general del sistema de monitorización.

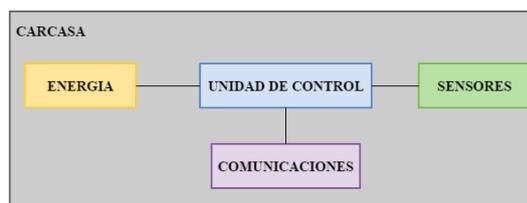


Figura 3. Diagrama general de bloques del dispositivo de medición.

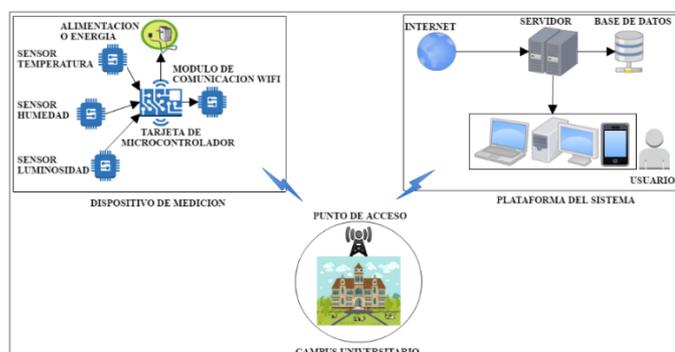


Figura 4. Esquema general del sistema de monitorización.

Para lo cual los requerimientos técnicos mínimos necesarios se darán a continuación:

3.1.1.1 Sensores

Para la recopilación de datos de las variables abióticas es necesario utilizar sensores de temperatura, humedad y luminosidad, necesarias para el análisis y la identificación de los microclimas. Educativo (2017), menciona que mediante la monitorización, del registro y del análisis de elementos como temperatura, humedad, precipitación, luminosidad, flujo de viento y presión atmosférica. Se puede determinar las condiciones climáticas de un lugar determinado. En la tabla 2, se muestra las características mínimas requeridas para los sensores de medición y su función general dentro del sistema de monitorización.

Tabla 2.
Requerimientos de sensores.

Sensor	Características	Funciones
Temperatura	Rango de temperatura de 0-50 °C. Alimentación de +3 a +5V. Corriente de operación de 2.5mA. Sensibilidad de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Salida digital. Tamaño reducido.	Medir la temperatura del ambiente, en las zonas de estudio.
Humedad	Rango de humedad de 0-80%. Alimentación de +3 a +5V. Corriente de operación de 2.5mA. Sensibilidad de $\pm 5\%$ Salida digital. Tamaño reducido.	Medir la humedad del ambiente, en las zonas de estudio.
Luminosidad	Rango de luminosidad de 0-65535lux. Lectura de cantidad de luz por metro cuadrado (lux). Alimentación de +3 a +5V. Corriente de operación de $<190\mu\text{A}$. Sensibilidad de $\pm 7\%$. Salida digital. Tamaño reducido.	Medir de luminosidad del ambiente, en las zonas de estudio.

3.1.1.2 Unidad de Control

Es el núcleo del dispositivo de medición, se encarga de controlar el sensado de las variables abióticas del ambiente y las comunicaciones hacia el servidor. En la tabla 3 se muestran las características mínimas necesarias para la unidad de control.

Tabla 3.

Requerimientos de la unidad de control.

Unidad de Control	Características	Funciones
Tarjeta de desarrollo microcontrolador	Hardware libre. Alimentación de +5 a +12V. Corriente de operación menor a 1A. Pines de entrada y salida digitales. Tamaño reducido. Protocolos de comunicación serial.	Alimentar a los sensores con fuentes de +3.3V y +5V. Controlar el funcionamiento de los sensores. Controlar el módulo de comunicaciones inalámbrico.

3.1.1.3 Comunicaciones

Para la comunicación entre el dispositivo de medición y el sistema de monitorización es necesario un módulo inalámbrico WiFi, el cual permita establecer un canal de comunicaciones hacia el servidor, en la tabla 4 se presentan los requerimientos de este módulo.

Tabla 4.

Requerimientos para las comunicaciones.

Comunicaciones	Características	Funciones
Módulo inalámbrico	Compatibilidad IEEE 802.11 b/g/n.	Levantar el canal de comunicación inalámbrico.

	Compatible con la tarjeta de desarrollo de microcontrolador. Configuración mediante comandos AT. Control mediante protocolo serial.	Establecer la sesión con el servidor. Envió de datos al medio.
--	---	---

3.1.1.4 Energía

Para el funcionamiento del dispositivo de medición es necesario contar con la etapa de potencia que es un circuito de alimentación de corriente continua para la tarjeta de desarrollo esta debe cumplir con los requerimientos de la tabla 5.

Tabla 5.

Requerimientos de alimentación.

Energía	Características	Funciones
Fuente alterna a continua	Voltaje de de entrada 110 V AC. Voltaje de salida +5V DC. Corriente DC de funcionamiento 1A. Conexión compatible con USB Tamaño reducido.	Alimentar al dispositivo de medición.

3.1.1.5 Carcasa

Para la protección de los sensores, el dispositivo de comunicación y la unidad de control; es necesario una caja que cumpla los siguientes requerimientos:

- Resistencia y durabilidad a la intemperie de las zonas de estudios.
- Fabricado de material ligero para su fácil transportación.
- Transparencia para la utilización del sensor de luminosidad.
- Dimensiones de acuerdo al tamaño del dispositivo de medición.
- No afecte a la medición.

3.1.1.6 Servidor

Para el almacenamiento de los datos recolectados y enviados, por parte del dispositivo de medición; es necesario que el servidor cumpla con los siguientes requerimientos, ver tabla 6:

Tabla 6.
Requerimientos Servidor.

Servidor	Características
Servidor	Conexiones Gigabit Ethernet. Tarjeta Intel Core E5. Espacio de disco: 10Gb. RAM: 16Gb.

3.1.1.7 Dispositivos de puntos de acceso

Se requiere que los puntos de acceso cumplan con los requerimientos siguientes:

- Conexión a Internet.
- Compatibilidad con estándar IEEE 802.11 b/g/n.
- Frecuencia de 2.4GHz.
- Identificación de nombre de red y contraseña requerido (BSSID).

3.1.2 Requerimientos de Software

En esta subsección, se describen los componentes lógicos necesarios para la implementación de la plataforma del sistema de monitorización. Que se dividen en dos categorías: requerimientos funcionales y no funcionales.

Los requerimientos funcionales son aspectos necesarios que debe proporcionar y cumplir el sistema, mientras que los no funcionales describen aspectos del sistema que son visibles para el usuario sin tener una relación directa con el funcionamiento del sistema.

3.1.2.1 Requerimientos funcionales

El sistema de monitorización, consta con los siguientes elementos listados a continuación:

a) Aplicación Arduino

Inicializar librerías y variables

- Declarar las librerías de los sensores y módulo externo.
- Declarar parámetros (BSSID y contraseña) de la red a utilizar.
- Declarar variables para el almacenamiento de los valores sensados.
- Inicializar comunicación serial.

Encender módulo WiFi

- Establecer modo cliente Web al módulo.
- Establecer conexión con el punto de acceso.
- Habilitar modo de múltiples conexiones.

Obtener temperatura del ambiente

- Inicializar el sensor de temperatura.
- Verificar la inicialización del sensor.
- Adquirir el valor de temperatura del ambiente.
- Adquirir datos en un intervalo de cada 5 minutos.

Obtener humedad del ambiente

- Inicializar el sensor de humedad.
- Verificar la inicialización del sensor.
- Adquirir el valor de humedad del ambiente.
- Adquirir datos en un intervalo de cada 5 minutos.

Obtener luminosidad del ambiente

- Inicializar el sensor de luz.
- Verificar la inicialización del sensor.
- Adquirir el valor de luminosidad del ambiente.
- Adquirir datos en un intervalo de cada 5 minutos.

Enviar datos

- Validar registro de datos de los sensores.
- Establecer inicio de sesión con el servidor de BD.

- Declarar una cadena de caracteres con los datos obtenidos (identificar, temperatura, humedad, luminosidad).
- Enviar los datos obtenidos a la BD.
- Verificación del envío.

Reinicio de bucle de recolección y envío

- Declarar función para un reinicio cada 5 minutos.

b) Aplicación Web

Página de inicio

- Definir la estructura de la página de contenidos.

Visualizar y graficar datos

- Definir estructura de la página web mediante PHP.
- Definir la zona de estudio.
- Solicitar información a la BD.
- Crear gráficas dinámicas con la información solicitada.

Descargar información en formato Excel

- Solicitar información a la BD.
- Declarar nombre del archivo de Excel, y nombre del libro.

c) Base de datos (BD)

- Abrir sesión.
- Solicitar datos almacenados en la BD.

3.1.2.2 Requerimientos no funcionales

- Realizar actualizaciones automáticas cada 5 minutos para tener información en tiempo real.
- Utilizar software libre para el desarrollo de las aplicaciones.
- Simplificar el uso y presentación de la información.

3.2 Selección de los elementos del dispositivo de medición

De acuerdo a los requerimientos técnicos de hardware mínimos necesarios para la implementación del dispositivo, se realizó la siguiente caracterización para seleccionar los elementos que conformarán el dispositivo de medición:

3.2.1 Caracterización

3.2.1.1 Sensor de temperatura y humedad

En el mercado existen varios sensores de temperatura y humedad, tales como: sensor analógico (LM35) y sensores digitales (HR202, DTH11, DTH22). Dentro del proyecto se tuvieron varias opciones como se muestra en la tabla 7:

Tabla 7.

Sensores propuestos.

SENSOR	TIPO DE SALIDA	PARÁMETROS DE OPERACIÓN	SENSOR INTEGRADO
LM35	Analógica	+3 a +5 V, 2.5mA	No
HR202	Digital	+3 a +5 V, 2.5mA	No
DTH11	Digital	+3 a +5 V, 2.5mA	Si

Sin embargo los dos primeros sensores no cumplen con los requerimientos mínimos necesario para el funcionamiento del dispositivo encargado de las mediciones de las variables abióticas, ya que la medición de valores es analógica y sufre inestabilidad al trabajar en conjunto con otros dispositivos.

3.2.1.1.1 Evaluación del sensor temperatura

Para evaluar la precisión que tiene el sensor de temperatura a utilizar en el proyecto de investigación, se realizó una prueba de medida de temperatura al aire libre durante una hora y treinta minutos, en el cual se comparan las mediciones del DTH11 (sensor digital) con las mediciones del sensor analógico LM35. Los datos fueron tomados cada cinco minutos, como se observa en la figura 8.

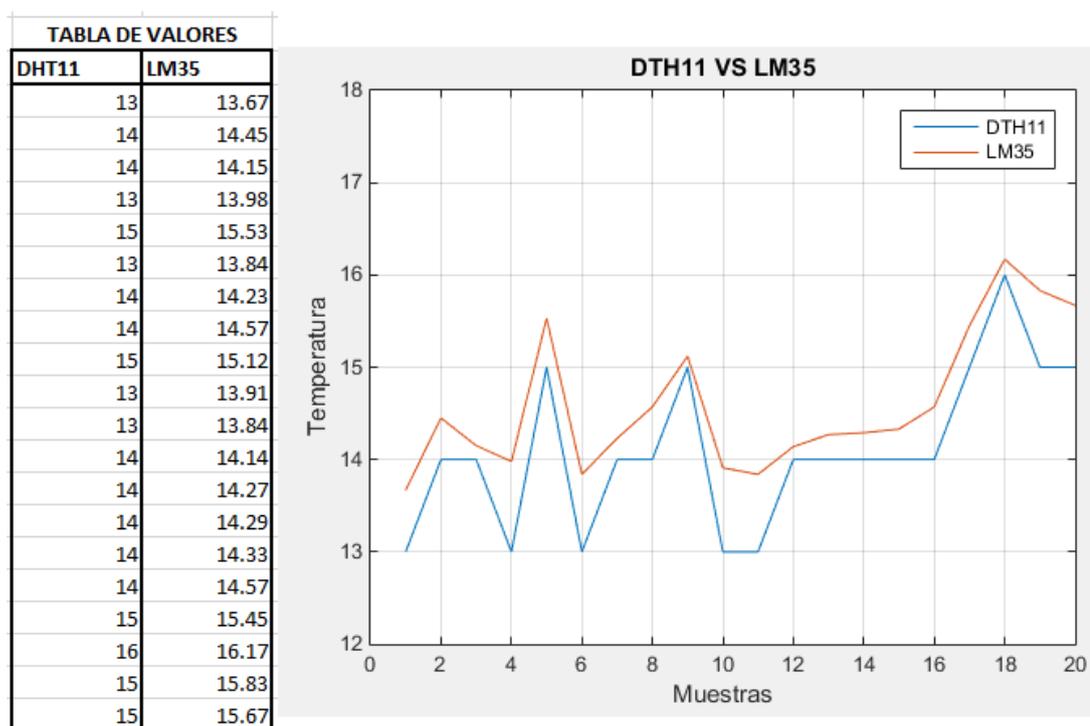


Figura 5. DTH11 vs LM35.

De la prueba se obtuvieron 20 muestras, donde se verifica que el DTH11 entrega valores enteros de la medición de temperatura, las cuales son similares al sensor analógico LM35 con una variación del 3.45%, es decir si se observa la tabla, cuando el LM35 mide 14.45°C el DTH11 indica 14°C; sin embargo el sensor LM35 a pesar de tener mayor precisión de medida, sufre inestabilidad al trabajar con otros sensores y no cumple con los requerimientos mínimos necesarios de hardware, por lo que se eligió finalmente el sensor de temperatura y humedad DTH11, el cual cumple con las características necesarias y es aceptable para el proyecto de investigación.

3.2.1.1.2 Evaluación del sensor de humedad

Para la evaluación de la precisión del sensor de humedad DTH11 (sensor digital), se realizó una comparación con las medidas del sensor digital HR202, las pruebas se realizaron durante una hora y media aproximadamente, con mediciones de cada 5 minutos. En la figura 9 se muestra el resultado de las mediciones realizadas.

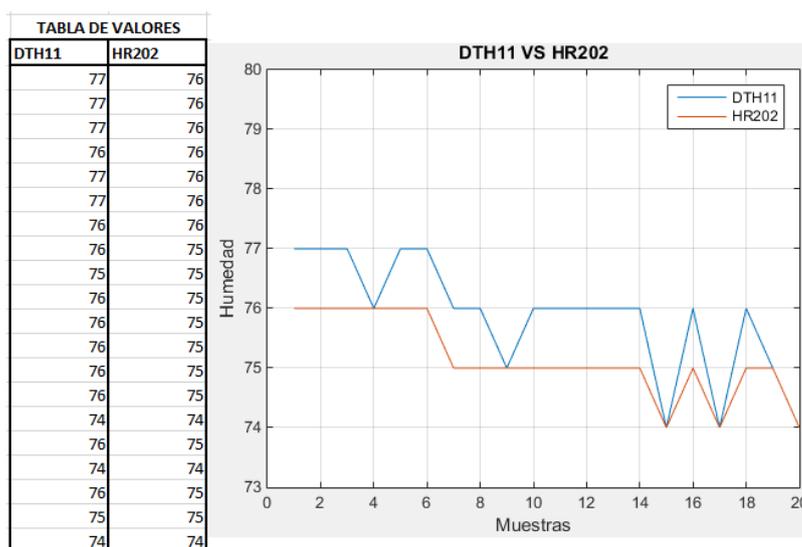


Figura 6. DTH11 vs HR202.

Durante las pruebas se obtuvo 20 muestras, donde se verifica que el DTH11 y HR202 entregan valores enteros de la medición de humedad, los cuales son similares con una variación de 0.92%. Dicho de otro modo cuando el HR202 mide 76% el DTH11 indica 77%. Lo cual es aceptable para el proyecto de investigación.

Para validar las pruebas realizadas se tomó como referencia un medidor de temperatura y humedad digital certificado marca Traceable (Control Company) con las siguientes características, (EMYR, 2017):

- Humedad Relativa (RH)
 - Rango: 0%-90%
 - Resolución: 1%
 - Exactitud: $\pm 5\%$
- Temperatura ambiental
 - Rango: 0-50°C
 - Resolución: 0.1°C
- Certificado por Traceable

3.2.1.1.3 Relación temperatura y humedad

En la figura 10, se muestra la relación existente entre las mediciones de temperatura y humedad.

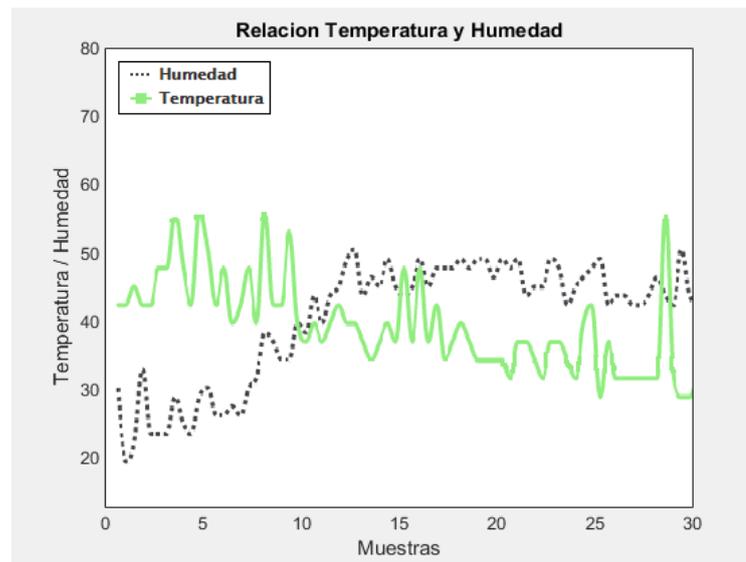


Figura 7. Relación entre temperatura y humedad.

Met (2009), menciona que a medida que el aire se calienta, este puede absorber o contener más agua sin llegar a la saturación o la humedad relativa del aire; mientras que durante el día se calienta, el nivel de humedad del aire disminuye o se mantiene constante, o en caso contrario mientras el aire se va enfriando los niveles de humedad van en aumento.

Como es de esperarse existe una relación inversamente proporcional, es decir que mientras los valores de temperatura son menores la humedad aumenta, y viceversa. En la identificación de climas los ambientes cálidos tienen valores de humedad bajos y temperaturas altas; por otro lado los lugares fríos se obtienen temperaturas bajas y valores de humedad elevados.

3.2.1.2 Sensor de luminosidad

Existen distintos sensores de luminosidad del ambiente entre los cuales tenemos:

- Fotorresistencias semiconductoras
- Fototransistores y fotodiodos
- Fotocelulas

3.2.1.2.1 Evaluación del sensor de luminosidad

Para la validación de identificación de su funcionamiento se comparó entre los valores obtenidos del sensor LDR y el sensor BH1750, la toma de muestras se realizó

durante una hora y media aproximadamente en intervalos de 5 minutos. En el figura 11 se muestra el resultado de las mediciones realizadas.

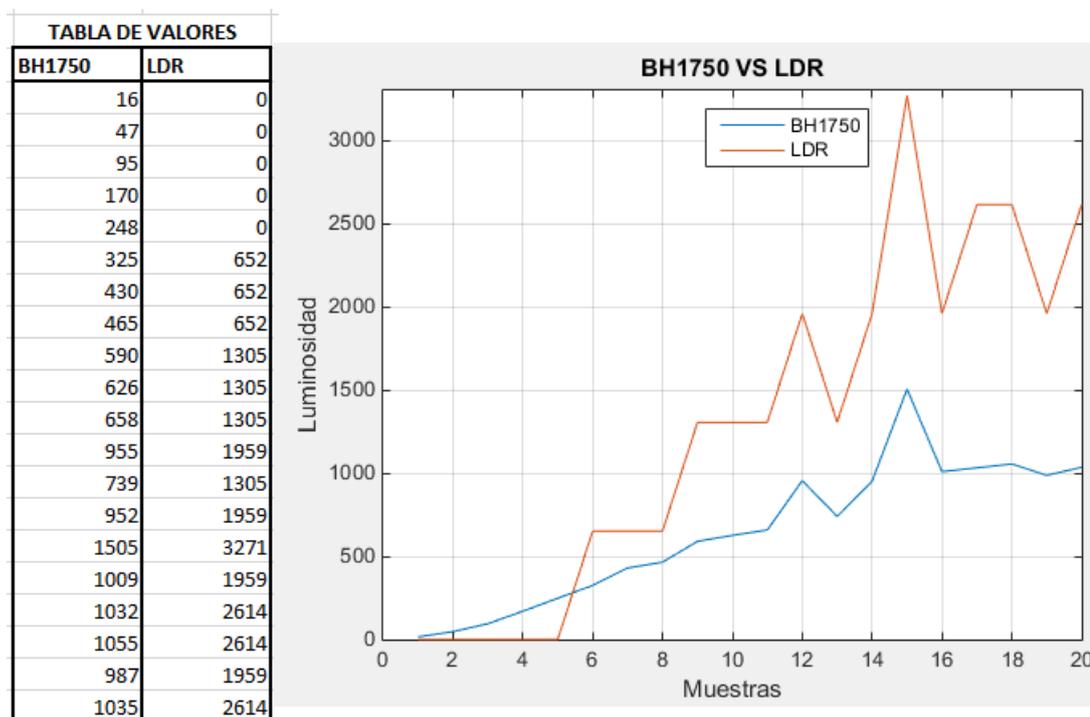


Figura 8. BH1750 VS LDR.

De las pruebas realizadas se obtuvo 20 muestras; en la figura 11 se muestra la gráfica comparativa del sensor BH1750 vs LDR en donde se aprecia que la existe una variación del 53.57% en los valores de la medición de luminosidad, es decir que cuando el sensor BH1750 mide 430 lux, el sensor LDR mide 652 lux, esto es debido a que, el sensor LDR trabaja basado en una fotoresistencia y las mediciones realizadas por el microcontrolador solo varían de 0-1023, y luego son convertidos en unidad de luminosidad (lux); mientras que el sensor BH1750 utiliza un conversor análogo digital interno de 16 bit, por lo que presenta mayor precisión en sus medidas con un rango de 0-65535 lux. Por lo que se eligió el sensor BH1750 que cumple con los requerimientos de hardware necesarios para el funcionamiento del dispositivo de medición y su resolución permite entregar valores más exactos.

3.2.1.3 Módulo inalámbrico WiFi

En el proyecto se tuvo las siguientes opciones:

- Módulo WiFi ESP8266 ESP-01

- Módulo WiFi ESP8266 ESP-12

Los módulos propuestos para el desarrollo del proyecto, pertenecen a la familia de módulos WiFi ESP8266 XX, que es un microcontrolador pensado en aplicaciones de Internet de las Cosas (Sus siglas en ingles IoT). Este módulo incluye lo necesario para conectarse a un punto de acceso (AP) inalámbrico (cliente) o trabajar como un Punto de Acceso (servidor) mediante comandos de texto AT. La configuración se realiza vía un puerto serial y permite configurar a diferentes velocidades.

3.2.1.3.1 Evaluación módulo WiFi

Para la caracterización del módulo a escoger, dentro de la familia ESP8266 XX, se tiene dos opciones: ESP8266 ESP-01 y ESP8266 ESP-12, en función de los cuales es tomaron en cuenta las siguientes pruebas:

3.2.1.3.1.1 Facilidad de manejo

Partiendo de la facilidad de manejo, se puede notar que el módulo ESP8266 ESP-12 necesita obligatoriamente una placa externa para sus conexiones ya que no cuenta con pines adecuadas para las conexiones; mientras que el caso del módulo ESP8266 ESP-01 consta de pines que sirven para conectar al protoboard, en la figura 12 se muestra una comparativa gráfica de los módulos.



Figura 9. Comparativa ESP8266-01 vs ESP8266-12

3.2.1.3.1.2 Actualización de firmware

Para el funcionamiento es necesario revisar su firmware con el fin de tener mejoras en el funcionamiento de los dispositivos, corrección de errores y mejoras de las características operativas. Durante la actualización de firmware, los módulos

funcionaron correctamente, ningún modelo tuvo problemas en el transcurso del procedimiento. Es necesario que los módulos WiFi se conecten según el diagrama siguiente, las figura 13 y figura14 muestran el diagrama de conexión en modo Flash Boot.

Modo Flash: es un protocolo que permite modificar el filesystem mediante una conexión serial del módulo WIFI, para realizar el cambio de firmware.

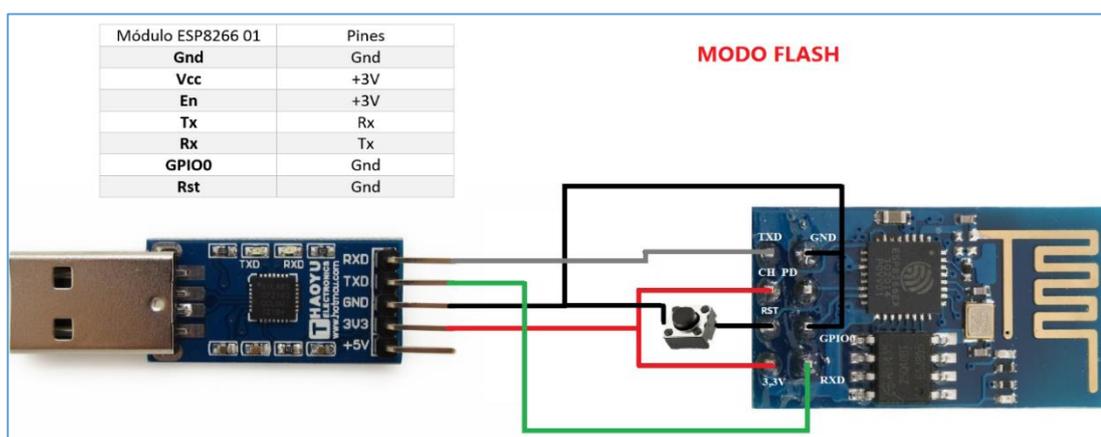


Figura 10. Conexión modo Flash Boot módulo WiFi ESP8266-01.

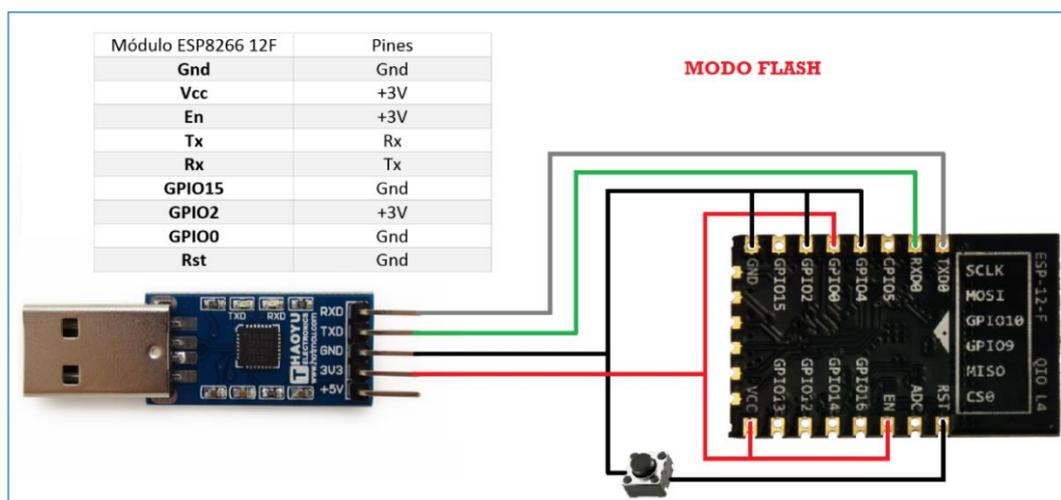


Figura 11. Conexión modo Flash Boot módulo WiFi ESP8266-12F.

Pasos para el cambio de firmware:

Paso 1: Descargar el firmware “v2.0 AT Firmware(ESP).bin” en la carpeta descargas de su computador.

Paso 2: Conectar el modulo en modo Flash (Boot from SPI Flash) pin00 a GND.

Paso 3: Conectar el módulo serial al computador.

Paso 4: Abrir el programa ESP8266 Flash Downloader desde su computador.

Paso 5: Escoger el .bin (firmware) a instalar, archivo ubicado en la carpeta descargas.

Paso 6: Poner el COM Serial que registra el módulo.

Paso 7: Dar clic en Download (descargar el .bin al módulo).

Paso 8: Reiniciar al módulo, para que arranque desde modo flash.

Paso 9: Desconectar el pin 00 y ponerlo en VCC (+3.0v) para su funcionamiento.

Nota: Los pasos para el cambio de firmware son los mismos para diferentes modelos de módulos.

3.2.1.3.1.3 Inicialización de módulo y uso de comando AT

Para la inicialización del modelo ESP8266-12 se tuvo que realizar de 4 a 5 resets manuales para que entre en funcionamiento; frente al modelo ESP8266-01 que solo es necesario conectar a la alimentación para que se entre en funcionamiento. En cuanto al uso de los comandos AT, para el control del módulo, ningún de los dos modelos presento inconveniente.

Finalmente realizadas las pruebas de caracterización para los módulos se eligió el modelo ESP8266-01, debido a su estabilidad y funcionamiento frente al modelo ESP8266-12, como se muestra en las pruebas realizadas anteriormente.

NOTA: Para correcto funcionamiento se trabaja con una velocidad 115200 baudios, en otras velocidades de transmisión el módulo puede enviar caracteres tipo basura.

3.3 Descripción de los elementos del dispositivo de medición

A continuación se describen los elementos del dispositivo de medición seleccionados luego de haber realizado la caracterización.

3.3.1.1 DTH11

Adafruit (2015), menciona que es un sensor de temperatura y humedad de muy bajo costo, utiliza un sensor de humedad capacitivo y un termistor para medir el aire circundante, y arroja una señal digital en el pin de datos con valores enteros, que se realiza mediante un conversor análogo digital que tiene integrado el encapsulado. De

fácil uso, pero requiere una sincronización para obtener datos. Además de ser compatible con varias tarjetas de desarrollo de microcontrolador, ver figura 5.

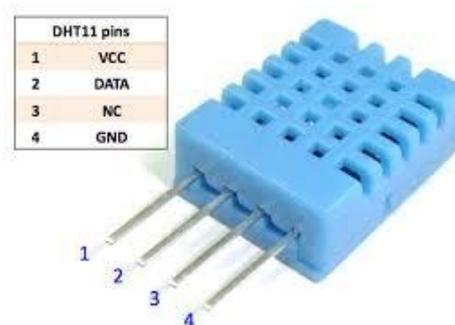


Figura 12. Sensor de Temperatura y Humedad DTH11.

Fuente: (Vega, 2017)

3.3.1.2 BH1750

Sensor de intensidad de luz ambiente basado fototransistores que detectan el nivel de luz que hay en el interior o exterior de una habitación, medidos en cantidad de luz por metro cuadrado (lux unidad de medición) (Naylamp Mechatronics, 2017). Llamas (2016), menciona que el nivel de luminosidad que el sensor capta, lo hace mediante una distribución de sensibilidad similar a la del ojo humano proporcionando un modo de cancelación del ajuste de la influencia de la ventana óptica y aumentando el tiempo de lectura en proporción, ver figura 6. Ejemplo: noche (0.001-0.02lux), día nublado en exterior (50-500lux), día soleado (100000 lux), entre otras.

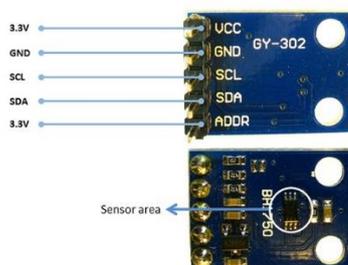


Figura 13. Sensor de luz BH1750.

Fuente: (ESP8266 Community Forum, 2015)

3.3.1.3 Módulo WiFi ESP8266 ESP-01

Del Valle Hernández (2016), menciona que es un módulo WiFi compatible con el estándar IEEE 802.11 b/g/n a una frecuencia de trabajo de 2.4 GHz con soporte de redes WPA/WAP2, además de ser compatible con protocolos TCP/IP. Consta de modos de operación como: modo cliente (STA), modo servidor (AP) y modo conjunto (STA+AP). Su función principal es dar acceso a cualquier microcontrolador a una red, ver figura 7.



Figura 14. ESP8266 ESP-01.

Fuente: (Łukasz Jokiel, 2015)

3.4 Diseño de Hardware

En la figura 15, se muestra el diagrama general del diseño del hardware.

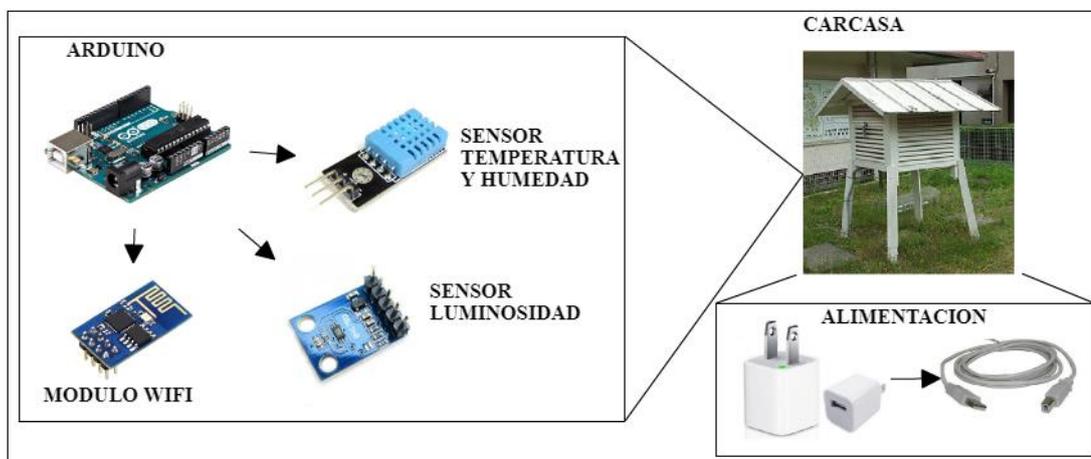


Figura 15. Diagrama del diseño de hardware.

3.4.1 Hardware libre

En el mercado existen varios dispositivos de hardware libre como:

- Arduino (En sus diferentes versiones).
- Raspberry Pi (En sus diferentes versiones).
- OpenMoko.
- VIA OpenBook.
- Uzebox.
- Entre otros.

Para el proyecto de investigación, la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, proporcionó la placa de desarrollo Arduino UNO para la implementación del dispositivo de mediciones. Este hardware libre cumple con los requerimientos establecidos para el diseño del dispositivo de medición y es el encargado de controlar el sensado y envío de los datos recolectados mediante el módulo WiFi. Los datos son enviados hacia el dominio en donde se encuentra alojada la BD.

3.4.1.1 Arduino UNO

Evans, Noble, & Hochenbaum (2013), mencionan que esta placa está basada en un microcontrolador con conjunto de instrucciones reducidas (RISC). Arduino está alimentado con 5V a 1A, tiene una fuente integrada que provee de 3.3 voltios estables que alimenta los diferentes sensores; siendo el hardware ideal para la implementación del dispositivo de medición del sistema de monitorización.

Una pequeña desventaja de la placa es que consta de una sola conexión de comunicación serial, lo cual impide programarlo si se no desconecta el circuito de comunicación serial (P1-P0). Para poder grabar otro programa en la placa es necesario desconectar la comunicación serial para cargar el nuevo programa en la placa.

En la figura 16, se muestra el diagrama general de conexiones del dispositivo de medición.

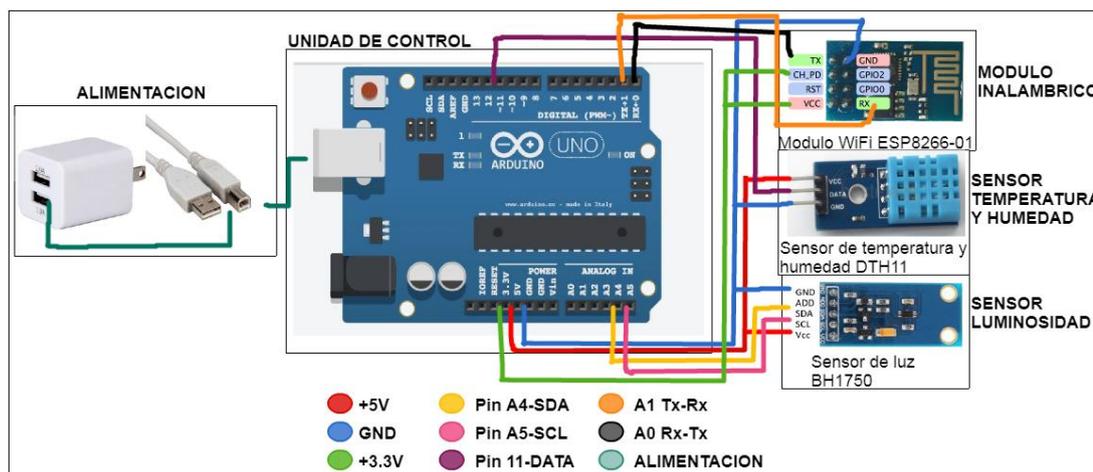


Figura 16. Diagrama general de conexión del dispositivo de mediciones.

3.4.2 Carcasa

El diseño de la carcasa del dispositivo de medición se basa en una modificación de un abrigo meteorológico o caja de Stevenson.

3.4.2.1 Abrigo meteorológico o caja tipo Stevenson

Díaz Gilete (2012), la define como una estructura de madera o plástico, utilizada para el soporte y la protección de los sensores de temperatura y humedad, de una estación meteorológica contra de la radiación solar directa, flujo de viento y lluvias. La función principal de esta caja es asegurar que las mediciones obtenidas por los sensores correspondan a las características del aire, evitando las modificaciones producidas por la radiación solar o el sobrecalentamiento debido a una mala ventilación de la caja. Entre sus diseños existen las de ventilación natural y ventilación artificial.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) proporciona los siguientes requerimientos básicos para cada diseño (World Meteorological Organization (WMO), 2012):

- La mayoría son de madera, aunque también las hay de plástico. En cualquier caso, se puede utilizar cualquier material robusto.
- Debe estar pintada, por fuera y por dentro, con pintura blanca no higroscópica, para reflejar la radiación solar e impedir la absorción de la humedad.

- Las paredes deben ser preferentemente de doble celosía en forma de persiana.
- El piso debe estar construido de listones dispuestos en dos niveles alternados. En climas fríos, donde la reflectividad de la nieve es superior al 88%, debe tener doble suelo.
- La cubierta debe ser de doble capa, con un espacio de ventilación entre ellas para evitar el calentamiento del aire cuando la radiación sea muy intensa. La cubierta externa debe tener suficiente inclinación para escurrir el agua de la lluvia.
- Con buena ventilación.
- La puerta debe estar orientada al Norte en el Hemisferio Norte, y al Sur en el Hemisferio Sur, para evitar que los rayos solares incidan sobre los instrumentos al realizar las observaciones.
- El tamaño y construcción de la garita debe ser tal que mantenga la capacidad de acumulación de calor lo más baja posible y, al mismo tiempo, que permita un amplio espacio entre las paredes y los instrumentos.
- Debe mantenerse limpia y pintarse regularmente, una vez cada dos años. Aunque si está situada en un entorno con mucha contaminación es conveniente pintarla una vez al año.
- En el caso que se quisiera utilizar ventilación artificial, hay que asegurar que el calor del ventilador o del motor eléctrico no afecte a la garita.

Para el proyecto de investigación se optó por una caja tipo Stevenson de ventilación natural. Con las siguientes modificaciones al diseño propuesto por la OMM.

- Estructura de acrílico (polímero de metil metacrilato o termoplástico rígido) en colores blanco lechoso para las paredes y transparente para el techo debido a que también se medirá el nivel de luminosidad del ambiente.
- Eliminación de las persianas de las paredes para evitar que la placa de desarrollo sufra daños debido a las condiciones climáticas que se presentan a lo largo del periodo de monitorización.

- Dimensiones de la caja acorde a las dimensiones del hardware descrito en las anteriores secciones, evitando la menor concentración de calor posible.

Nota: El techo de la caja tipo Stevenson es de color transparente debido a que es necesario obtener las mediciones del nivel de luminosidad ambiente de las zonas de estudio, la eliminación de las persianas de las paredes radica en que la ubicación del sensor de temperatura y humedad se encuentra en un 80% fuera de la caja, así como ambiente debido a que el Arduino UNO es propenso a sufrir daños por los cambios climáticos se hizo una caja en un 70% hermética.

Aunque WMO (2012), para la ubicación de las cajas tipo Stevenson, se toman en cuenta las siguientes recomendaciones establecidas por la OMM:

- Debe estar a una altura comprendida entre 1,2 y 2 metros por encima del suelo.
- En los alrededores, no debe haber árboles, edificios u otras construcciones.
- Situarlo en una explanada de hierba corta, evitando pendientes pronunciadas y hondonadas.

Para el proyecto, debido a las zonas de estudio se optó por ubicarlas sobre edificaciones, cerca de áreas verdes o entre edificaciones. Con el objetivo de verificar el efecto que éstas producen sobre el clima (creación de un microclima).

En la tabla 8, se muestra las medidas de las piezas de las cajas.

Tabla 8.

Dimensiones de la caja de Stevenson.

Piezas	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)
A	19	9	3
B	19	6.5	3
C	16.5	4.2	3
D	16.5	8.5	3
E	8.5	8	3

El esquema de diseño propuesto para el proyecto se muestra en la figura 17.

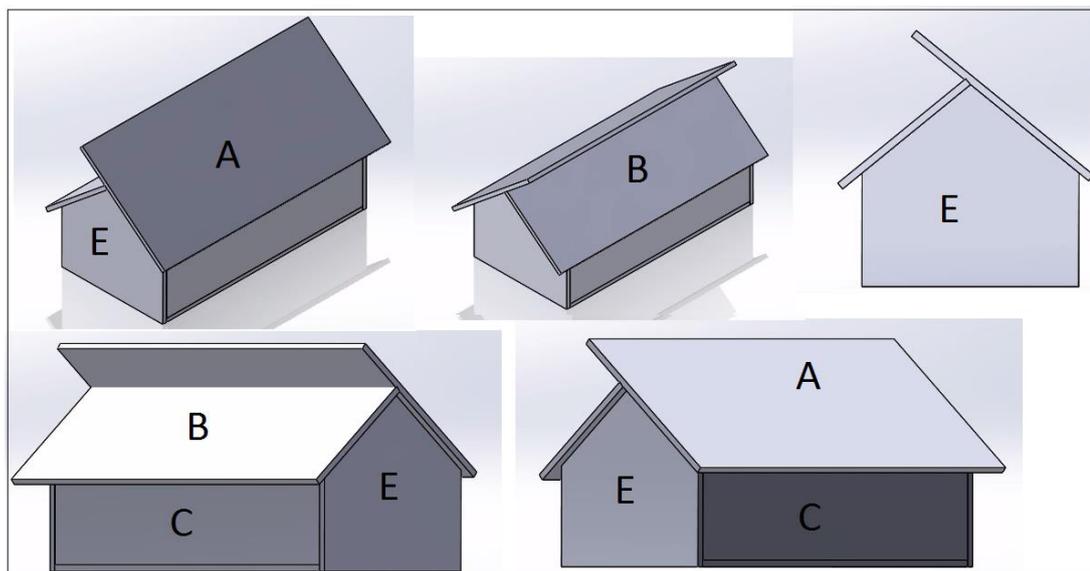


Figura 17. Esquema de diseño de caja tipo Stevenson.

Nota: Las piezas A y B (techo) se fabricaron en acrílico transparente, las piezas C, D y E (paredes y piso) en acrílico lechoso (color blanco).

3.5 Diseño Software

El diseño de software se divide en varias etapas que se describen a continuación:

3.5.1 Programa de Arduino

3.5.1.1 Entorno de desarrollo IDE

Para el desarrollo del código de programa para el proyecto de investigación, es importante tomar en cuenta el entorno de desarrollo compatible con el Arduino, ya que proporciona las librerías necesarias para la construcción del código. En este caso se hará uso del software IDE de Arduino para desarrollar el código de programa para sus placas, además de presentar la compatibilidad de distintas librerías para el funcionamiento de dispositivos externos.

En la figura 18, se muestra el diagrama de flujo del código de programa Arduino para el dispositivo de medición, es decir inicialización, recolección de datos por los sensores y envío a la red inalámbrica.

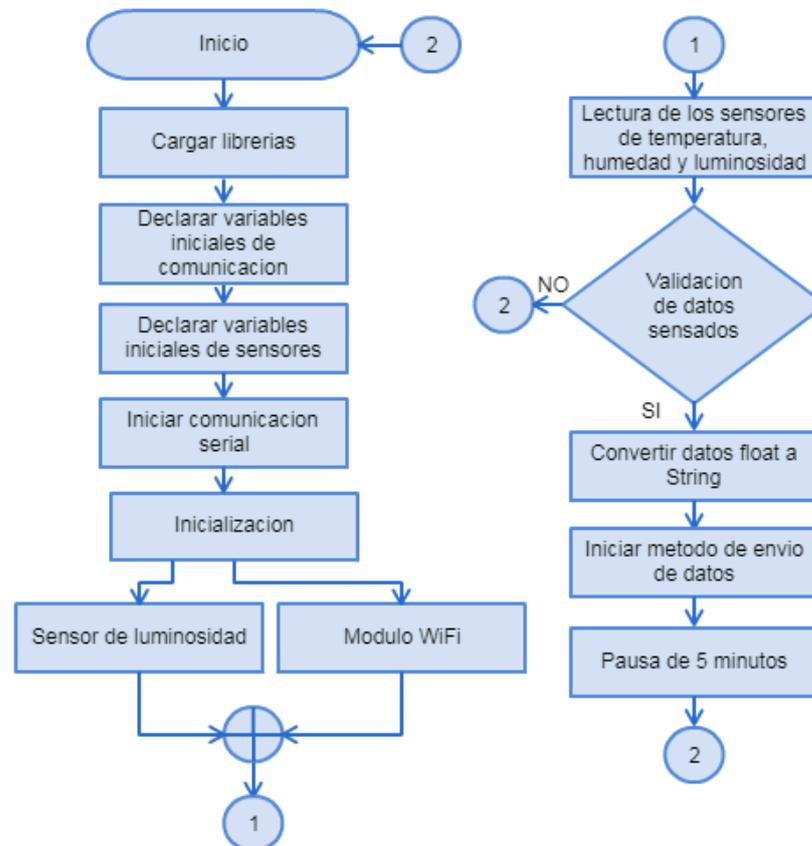


Figura 18. Diagrama de flujo del código de programa.

3.5.2 Plataforma Web

Según Aguilar Riera & Dávila Garzón, (2013), para el desarrollo de una plataforma Web, se utiliza la arquitectura Cliente – Servidor más conocida como: front-end (Cliente) y back-end (Servidor), el cual permite acceso a la plataforma del sistema mediante cualquier navegador Web con una conexión a Internet dirigida hacia la dirección del dominio en donde se encuentra alojado el servidor Web, utilizando el protocolo HTTP para la comunicación entre cliente y servidor.

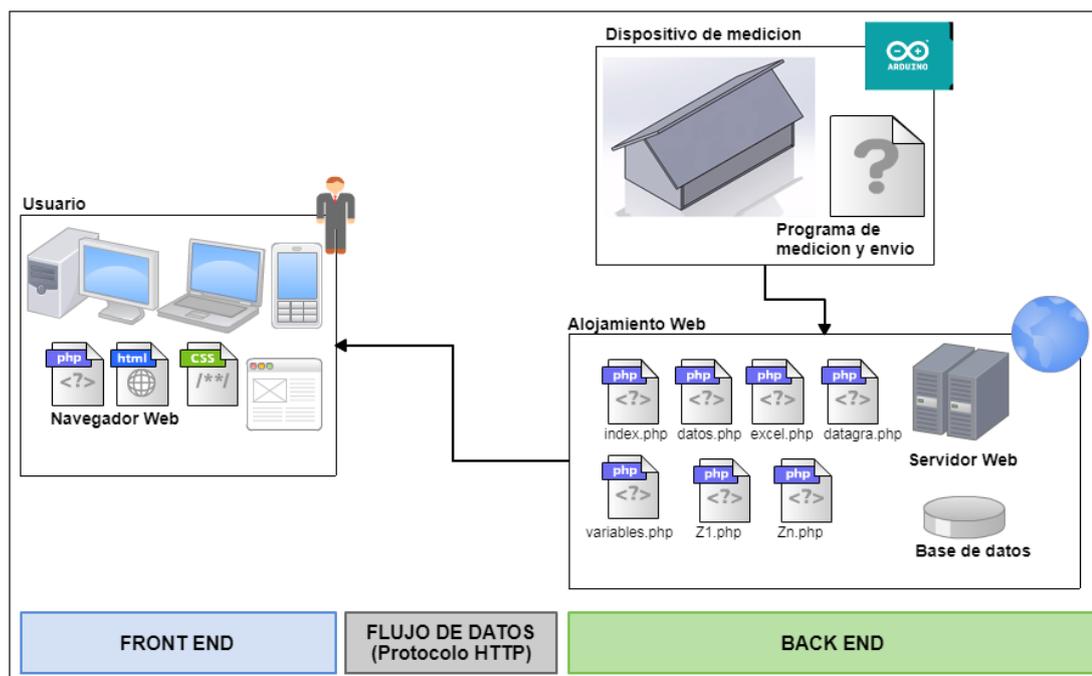


Figura 19. Front-End y Back-End

Diseño Front-End

El desarrollo de la plataforma Web del sistema tiene como propósito, realizar graficas dinámicas de líneas de tiempo y visualizar los datos recolectados por el dispositivo de medición en cada zona de estudio dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, campus Sangolquí.

La estructura principal de la plataforma Web contara con varios hipervínculos para cada zona de estudio, otra que permita descargar la información de la BD y finalmente una que realice una gráfica de todas las zonas de estudio.

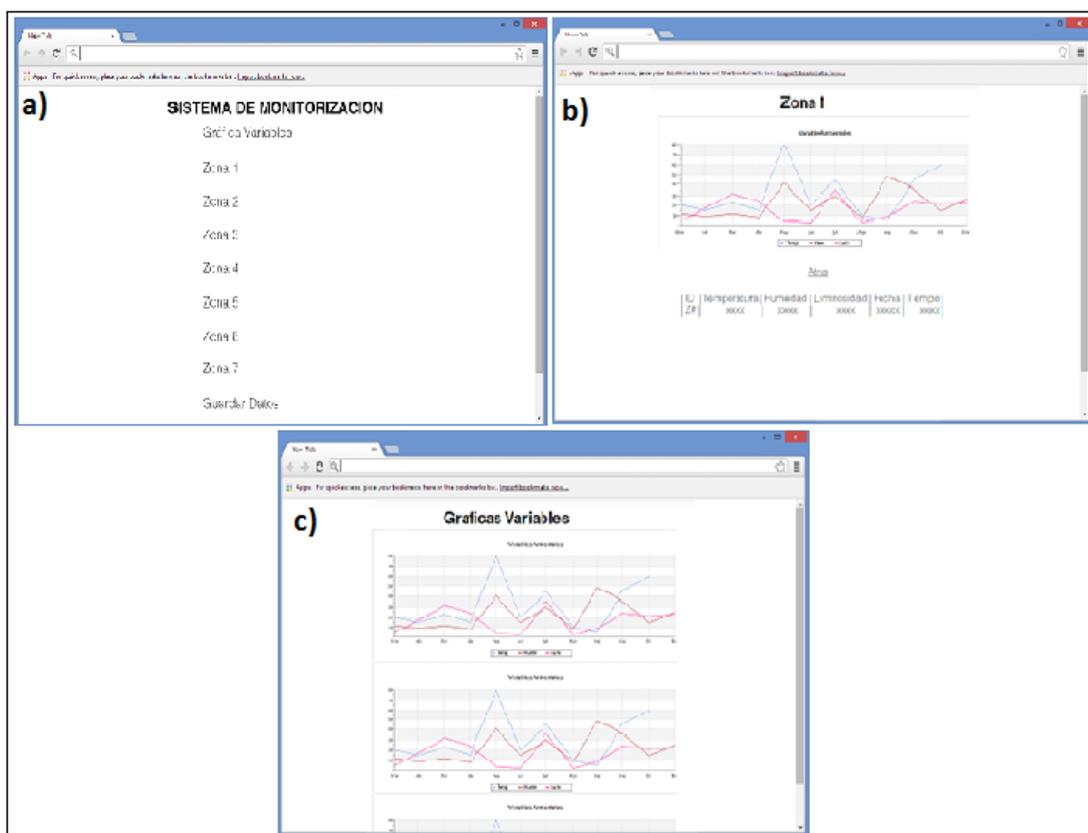


Figura 20. Boceto general páginas Web.

La figura 20 muestra el boceto general de las páginas.

- a) **Página de inicio:** muestra el acceso a las diferentes mediciones en las zonas de estudio, la figura 20 a) muestra su distribución.
- b) **Zonas de estudio:** Al elegir alguna de las opciones, se mostrara la zona de estudio a detalle, la figura 20 b) muestra la disposición de esta página que incluye los datos y la gráfica en tiempo.
- c) **Graficas Variables:** al elegir esta página, muestra las gráficas en el tiempo de las variables: temperatura, humedad y luminosidad de todas las zonas de estudio, ver figura 20 c).

Diseño Back-End

El diseño del back-end corresponde al desarrollo de los procesos y componentes por parte del administrador del sitio, con la finalidad de procesar la entrada de información efectuada desde el front-end para satisfacer las peticiones del usuario.

Para el desarrollo del back-end se utilizan herramientas como: servidor HTTP, Apache, lenguaje de programación PHP y MySQL para gestionar la BD.

Para gestionar la BD mediante MySQL se toma en consideración la utilización del modelo entidad –relación, ver figura 21.

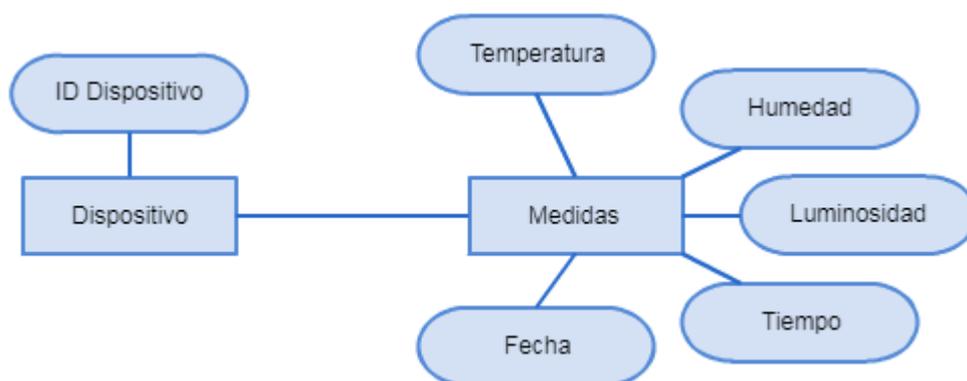


Figura 21. Modelo entidad-relación para la BD.

La tabla general del sistema contendrá la información de cada dispositivo, así como los valores sensados por cada sensor asociados a una fecha y hora en la cual se realizó la medición. En la tabla 9, se muestra el tipo de datos para cada atributo.

Tabla 9.

Tipos de datos de los atributos.

Nombre columna	Tipo de dato
ID	varchar(4)
Temperatura	float
Humedad	float
Luminosidad	float
Tiempo	time
Fecha	date

Protocolo HTTP

Aguilar Riera & Dávila Garzón (2013), indican que este protocolo permite intercambiar información en internet, de manera que las páginas o servicios Web que

ofrece el servidor se transfieren hacia el cliente. Mediante la utilización de este protocolo, se pretende que la información recolectada por parte de los dispositivos de medición sea enviada al servidor y la información almacenada visualizada en la plataforma Web.

3.5.3 Servidor Web

En el Internet existe una gran variedad de sitios que permiten el alojamiento Web como: miarrobaES, zPlanet, HostGator, Infranetworking, Hostinger, etc, sin embargo las características y funcionalidades de cada uno son de gran consideración para la selección del almacenamiento por lo que se decidió utilizar el alojamiento Infranetworking.

Las características de este alojamiento web elegido se muestran en la tabla 10:

Tabla 10.
Características Infranetworking.

Características	Observaciones
Capacidad de almacenamiento	10 Gb
Límite de transferencia	Ilimitada
Versión de PHP	5.3.16
Versión de MySQL	MySQL 5.6.34
Panel de administración del dominio y hosting	cPanel
Dominio	Selección de 1 dominio propio
Subdominios	Ilimitados
Garantía de uptime estable	99%
Numero de base de datos	5
Respaldo	Semanalmente
Cuentas FTP	Ilimitadas
Cuentas de email	50

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

4.1 Arquitectura del sistema de monitorización

4.1.1 Escenario para el sistema de monitorización

En la figura 22, se muestra los elementos que componen el sistema de monitorización y la interacción de los mismos.

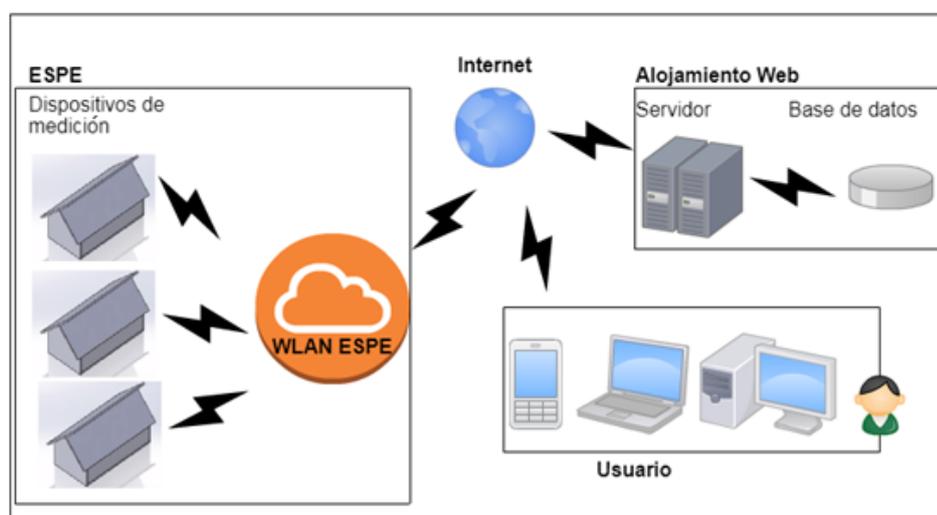


Figura 22. Escenario sistema de monitorización.

Para la implementación del sistema de monitorización, el primer paso necesario es identificar la ubicación de los dispositivos de medición dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, campus Sangolquí. Para ello se utilizó la aplicación móvil desarrollada para medir la calidad de los puntos de acceso del campus (App-release.apk).

Esta aplicación permite la identificación de las zonas de cobertura e intensidad de señal dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE desarrollado por un exestudiante (Núñez, 2016).

Entre la información que entrega está: el nombre de la red, su cobertura y la potencia. Para determinar las zonas de estudio, se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- **Alimentación eléctrica (P1)**, toma de corriente para alimentación el dispositivo de medición (si o no).
- **Cobertura (P2)**, un punto de acceso para la zona de estudio (Nombre de la red WiFi).
- **Potencia (P3)**, de existir cobertura, tener una potencia de señal recibida medio o alta medida (medida en dBm).
- **Acceso a Internet (P4)**, para el envío de información a la BD (si o no).
- **Densidad de edificaciones (P5)**, áreas que podrían definir microclimas, la apreciación es de acuerdo a la subjetividad propia del autor (alta, media o Baja).
- **Densidad de vegetación (P6)**, áreas que podrían definir microclimas, la apreciación es de acuerdo a la subjetividad propia del autor (alta, media o Baja).

En base a lo anterior se definió las siguientes zonas de estudio y la red que utilizará cada dispositivo de medición, ver tabla 11.

Tabla 11.

Zonas de estudio.

Zona	ID	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Residencia	Z1	Si	ESPE-ZONA-LIBRE	-65dbm	Si	Baja	Alta
Garita	Z3	Si	ESPE-ZONA-LIBRE	-61dbm	Si	Alta	Media
Laboratorios de Electrónica	Z4	Si	ESPE-ZONA-LIBRE	-63dbm	Si	Baja	Baja
Bodegas CICTE	Z5	Si	ESPE-ZONA-LIBRE	-59dbm	Si	Baja	Media
Centro Médico	Z6	Si	ESPE-ZONA-LIBRE	-60dbm	Si	Baja	Alta
Biblioteca	Z7	Si	ESPE-ZONA-LIBRE	-59dbm	Si	Alta	Alta
Edificio Académico	Z8	Si	ESPE	-64dbm	Si	Alta	Baja

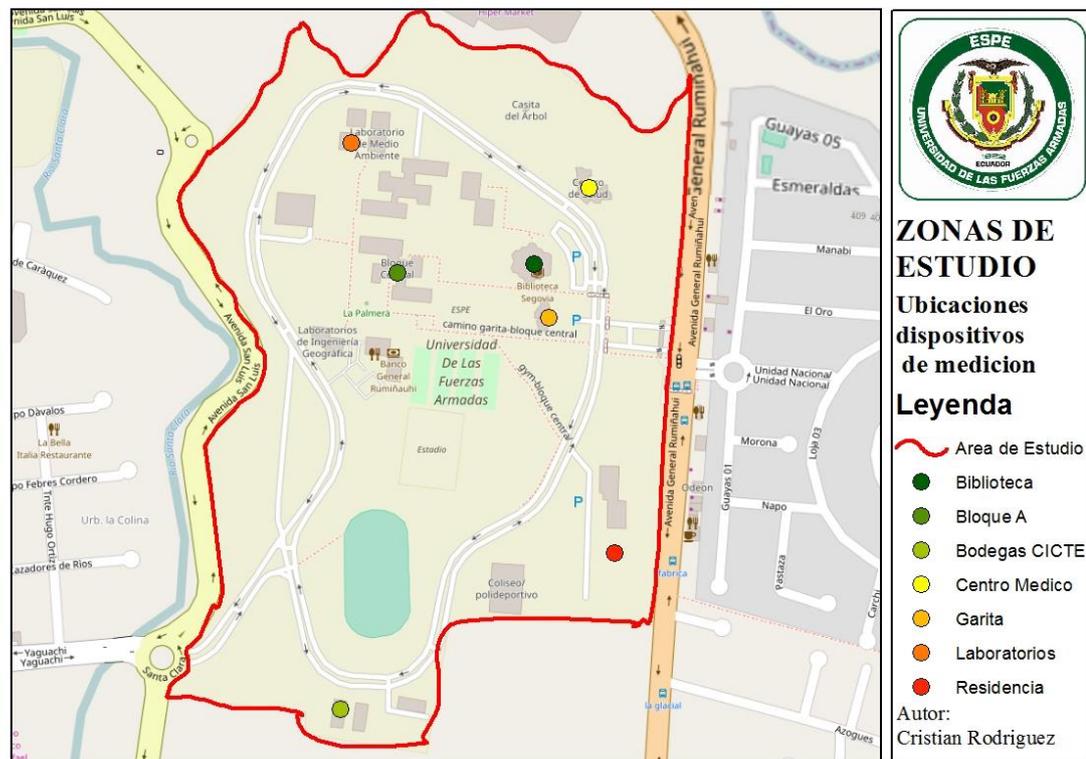


Figura 24. Zonas de estudio.

4.1.2 Desarrollo del programa de Arduino

El código de programa para controlar las funciones del dispositivo de medición consiste en un método que tiene asociado los valores de lectura de los sensores. A través de este método principal es posible establecer una sesión entre el dispositivo de medición y el servidor Web, para almacenar la información sensada en la base de datos previamente creada, sin necesidad que el administrador realice ninguna actividad extra.

En la tabla 12, se muestra los componentes del código de programa Arduino.

Tabla 12.**Componentes del código de programa Arduino.**

Tipo	Nombre	Funcionalidad
Librería	DTH11	Permite el control del sensor de temperatura y humedad.
	BH1750	Permite el control del sensor de luminosidad.
	SoftwareSerial	Permite el control de los pines encargados de la comunicación serial.
Variables	String ssid	Nombre del BSSID.
	String pwd	Contraseña del BSSID.
	String server	Dirección del servidor Web.
	BH1750 Luxometro	Objeto de la librería BH1750.
	int pin=11	Pin de entrada sensor DHT11.
	int err	Verificador de sensado.
	float temp1, humi1	Almacenamiento de valores de temperatura y humedad sensados.
	String temp, humi, lux	Conversión a String de valores sensados (temperatura, humedad y luminosidad).
	uint16_t lux1	Almacenamiento de cantidad de luz.
	String comandoConexion	Permita iniciar la sesión con el servidor Web.
String webpage	Permite enviar los datos al servidor Web.	
Métodos	void sendData(String comando, const int timeout)	Permite enviar comandos AT al módulo WiFi para su control.
	Encendido(String ssid, String pwd, String server)	Permite conectar el módulo WiFi a la red de Internet.
	Base_datos(String id, String temp, String humi, String lux)	Permite el envío de datos desde el dispositivo de medición hacia el servidor Web.

A continuación se describe mediante diagramas de flujo los métodos utilizados dentro del código de programa.

Envío de comandos AT

Como se observa en la figura 25, se describe el funcionamiento del método para enviar comandos AT al módulo WiFi; que permiten su control.

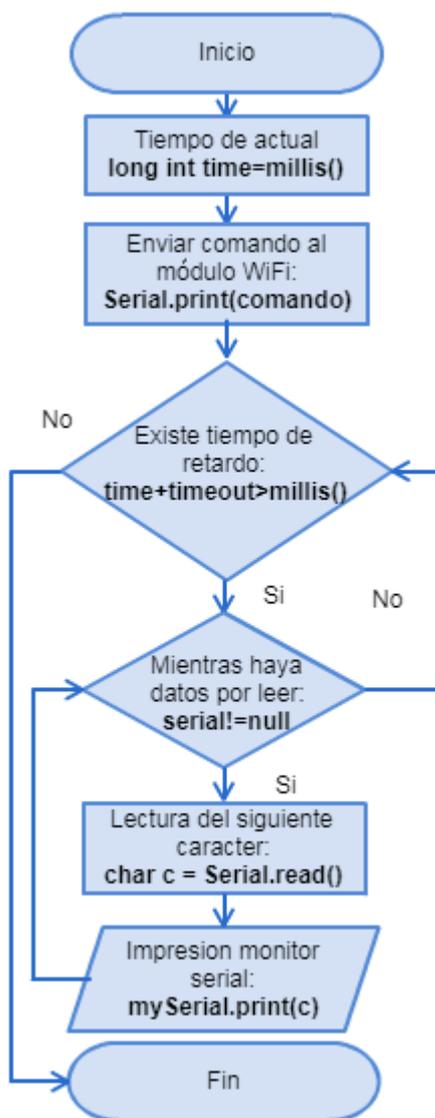


Figura 25. Método para envío de comandos AT.

Inicialización módulo WiFi

En la figura 26, con la ayuda de un diagrama de flujo se muestra el procedimiento para inicializar el módulo WiFi.

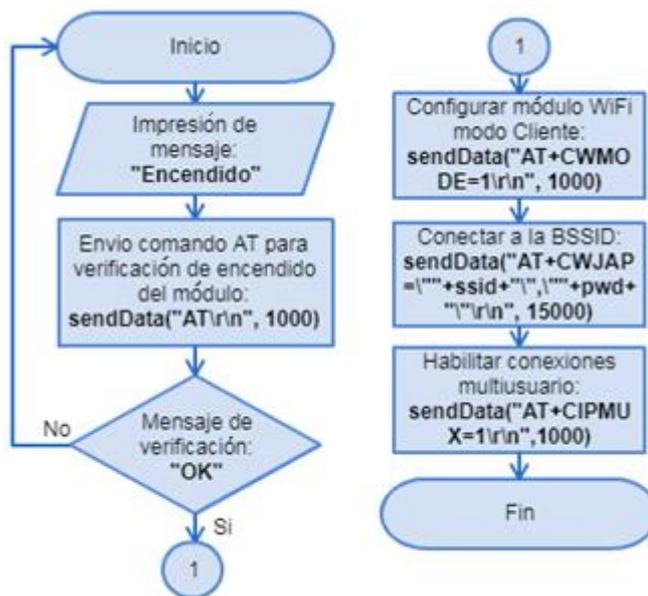


Figura 26. Diagrama de flujo de encendido módulo WiFi.

Envío de datos

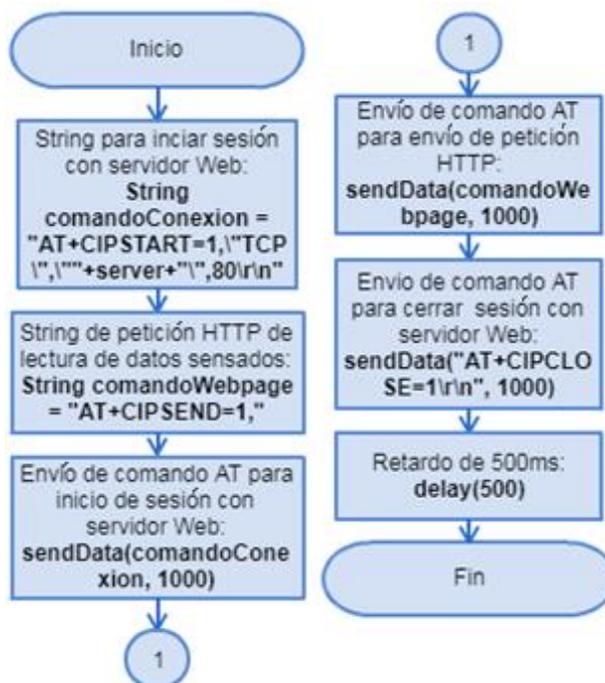


Figura 27. Diagrama de flujo para el envío de datos.

En la figura 27, se observa el procedimiento que se utilizara para el envío de datos desde el dispositivo de medición hacia el servidor Web.

Escenario de adquisición de datos

Una vez creado el código de programa Arduino, referido a lo anterior se crea la BD para el almacenamiento de los datos enviados por los dispositivos de medición y posteriormente visualizar la información en tablas y gráficas.

Para el proceso de envío de datos, el dispositivo de medición mediante el programa creado en Arduino inicia una sesión con el servidor Web para posteriormente enviar una solicitud HTTP, recibido por la página realizada en lenguaje PHP que recibe la petición y almacena los datos enviados en la BD. Para mostrar la información recolectada de la zona de interés desde cualquier navegador Web se realiza una petición.

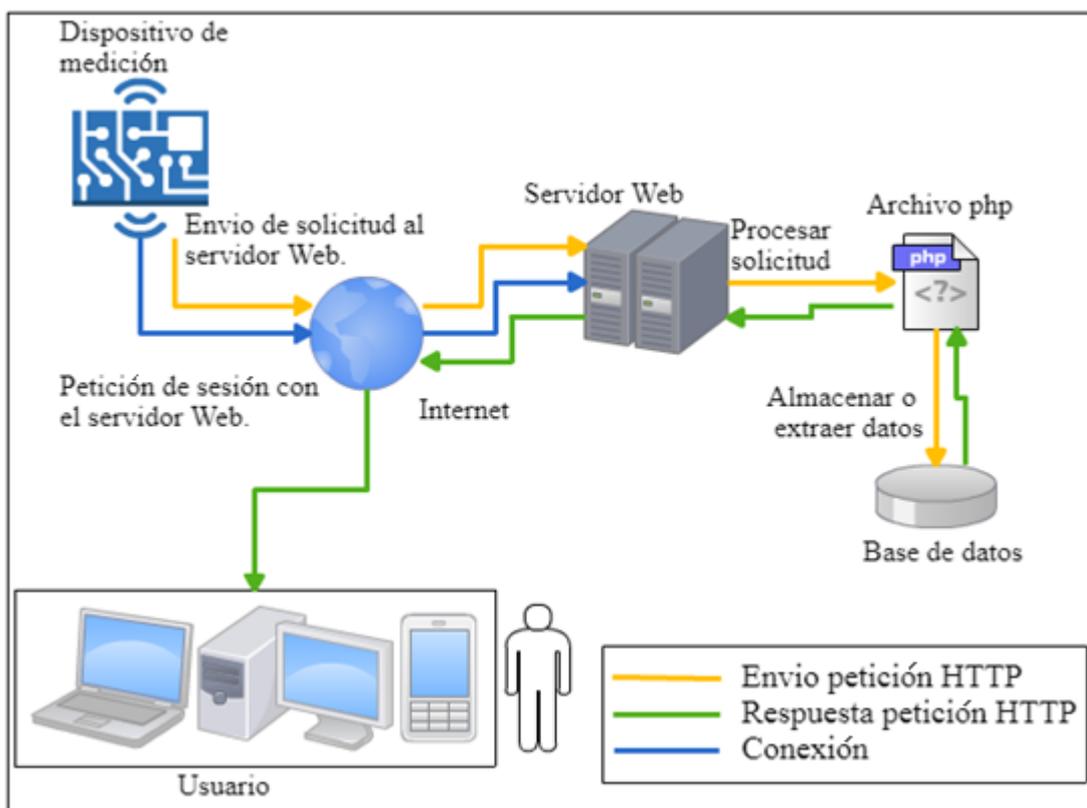
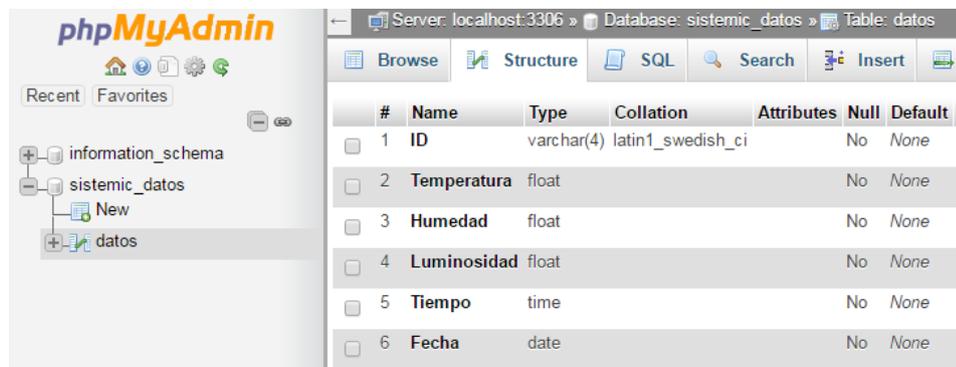


Figura 28. Diagrama de envío y muestra de datos.

La figura 28, muestra el proceso de conexión al servidor Web, la petición de envío de datos mediante una petición HTTP al servidor y la muestra de datos almacenados en la BD en un navegador Web.

La creación de la base de datos utiliza el esquema entidad-relación cuyo diseño se muestra en la figura 29.



#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default
1	ID	varchar(4)	latin1_swedish_ci		No	None
2	Temperatura	float			No	None
3	Humedad	float			No	None
4	Luminosidad	float			No	None
5	Tiempo	time			No	None
6	Fecha	date			No	None

Figura 29. Diseño de base de datos.

En la figura 30, se observa la secuencia de envío y recepción de datos, que describe el almacenamiento de los datos enviados por el dispositivo de medición que serán visualizados posteriormente.

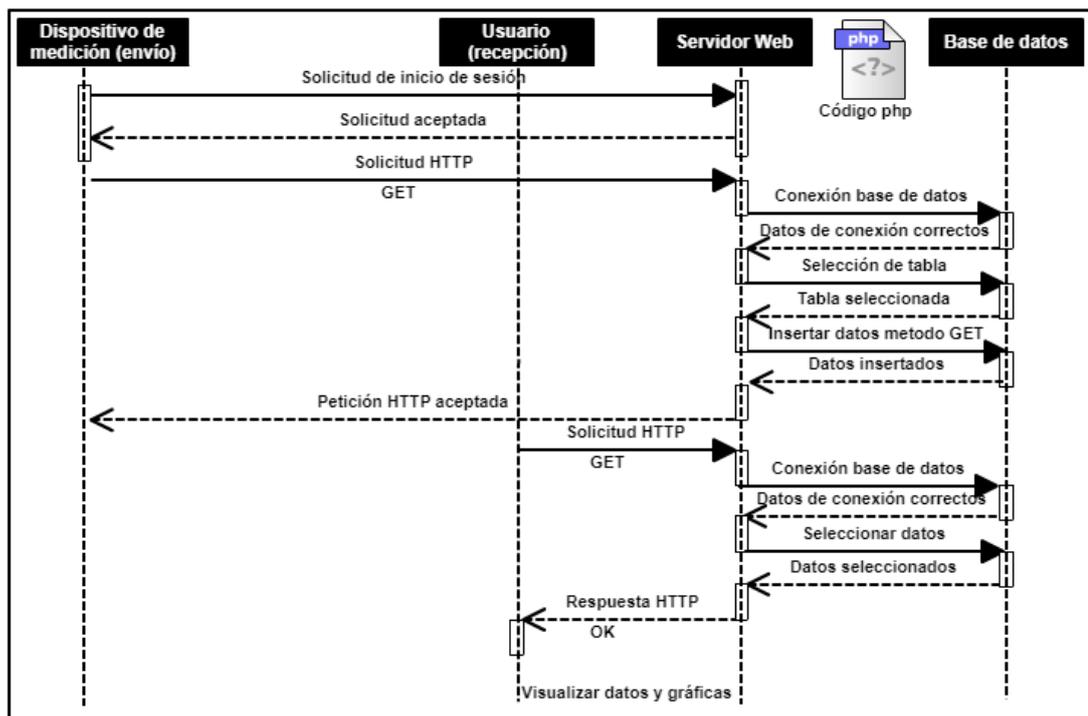


Figura 30. Secuencia de envío y recepción de datos.

4.1.3 Implementación del dispositivo de medición

Según las especificaciones del diseño se realizó la implementación del dispositivo de medición, que consta de la construcción de: la caja tipo Stevenson para la protección, de los dispositivos de sensores, módulo de comunicación y el Arduino; así como también una ranura para la ventilación del sensor de temperatura y humedad, y la fuente de energía. Y se procedió a ubicar cada dispositivo de medición en la zona de estudio asignada.

En la figura 31, se muestra el dispositivo de medición implementado.

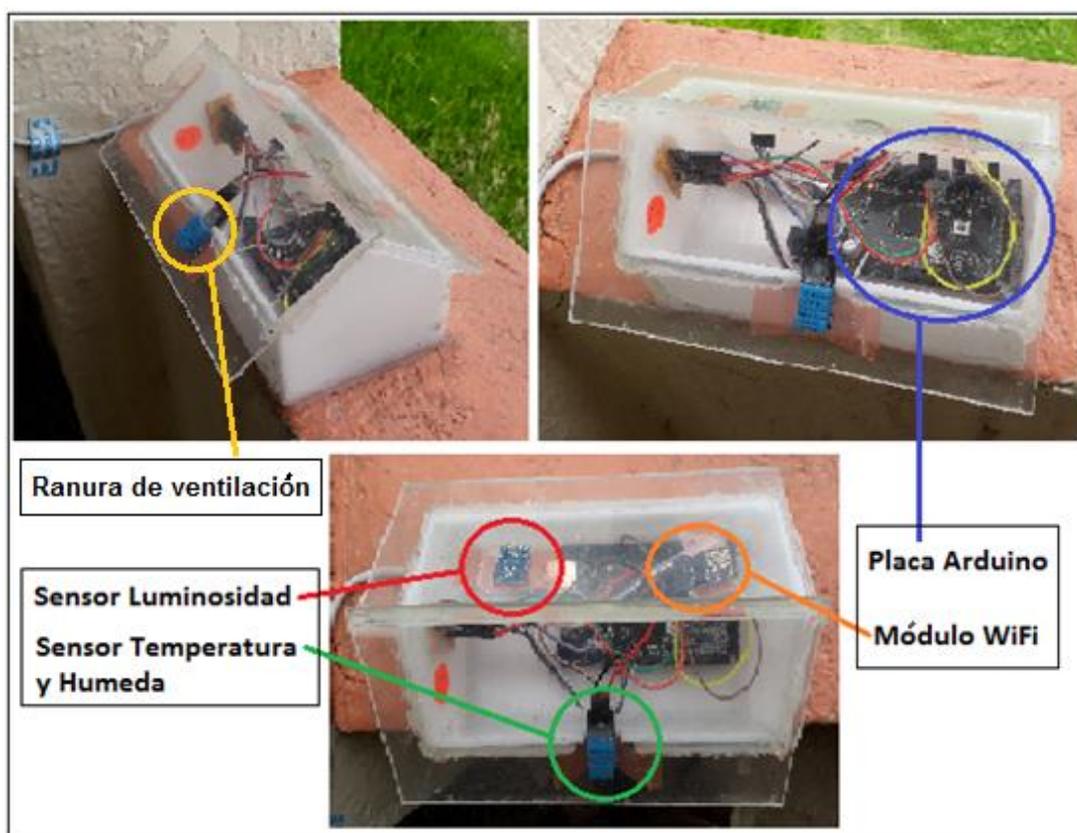


Figura 31. Dispositivo de medición.

En el anexo 1 se muestra la ubicación exacta de los dispositivos de medición.

4.1.4 Desarrollo de la plataforma Web

El desarrollo de la plataforma Web, se encarga de la visualización de los datos, gráficas en líneas de tiempo y su exportación de datos a un formato de Excel, para su posterior análisis.

El diagrama muestra la distribución de la plataforma del sistema de monitorización, ver figura 32.

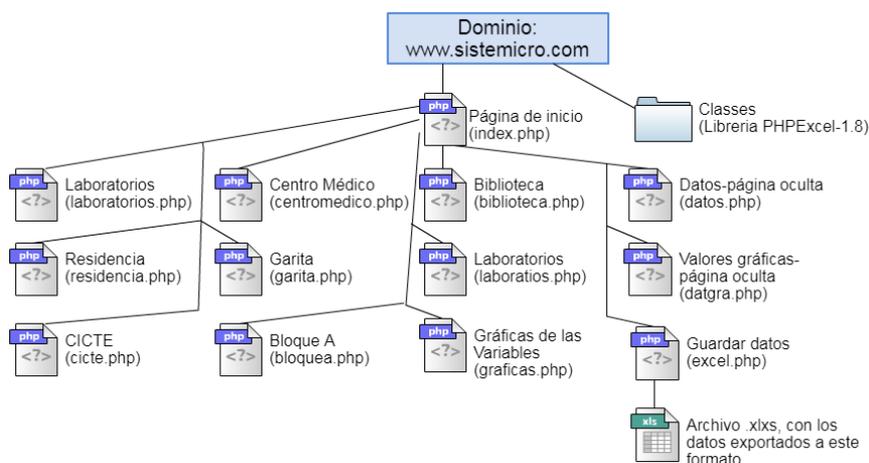


Figura 32. Diagrama de la plataforma.

Página de inicio

Es la página de bienvenida al sistema de monitorización, el cual muestra hipervínculos los cuales están enlazadas con la página de cada una de las zonas de estudio.

Zonas de estudio

Las páginas que permiten la visualización de datos son:

- Residencia (residencia.php).
- CICTE (cicte.php).
- Centro Médico (centromedico.php).
- Garita (garita.php).
- Bloque A (bloquea.php).
- Biblioteca (biblioteca.php).
- Laboratorios (laboratorios.php).

Cada una de las páginas permite la visualización de los últimos 150 datos y la gráfica en líneas de tiempo empleando la librería Highcharts-5.0.10, con un hipervínculo que enlaza la página de inicio, en la figura 33, se observa el diagrama de secuencia de la página Web.

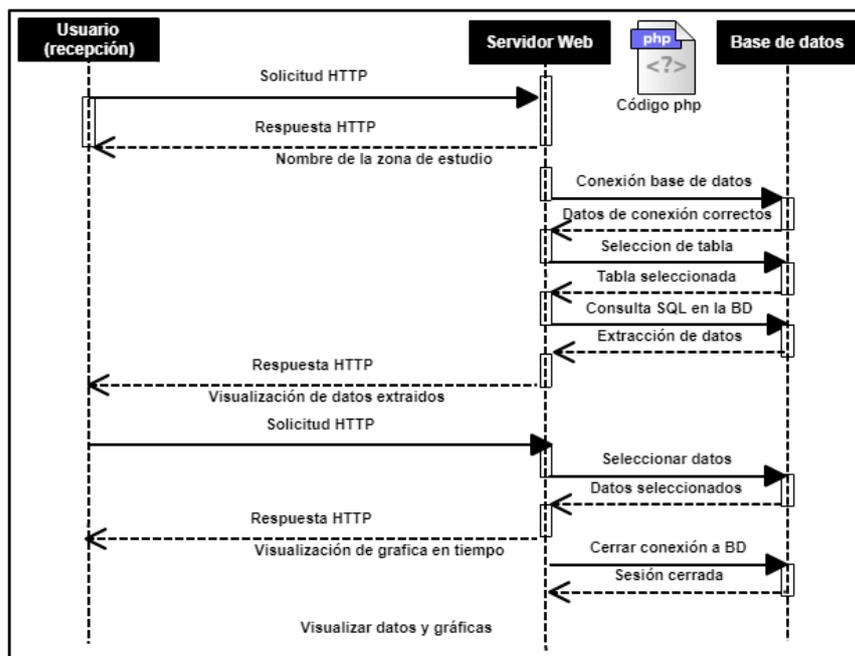


Figura 33. Diagrama de secuencia para las zonas de estudio.

Gráfica Variables

La página gráfica variables, permite la visualización de cada una de las variables medidas (temperatura, humedad y luminosidad) de todas las zonas de estudio, en un rango de los últimos 150 valores medidos. El diagrama de secuencia de la página se muestra en la figura 34.

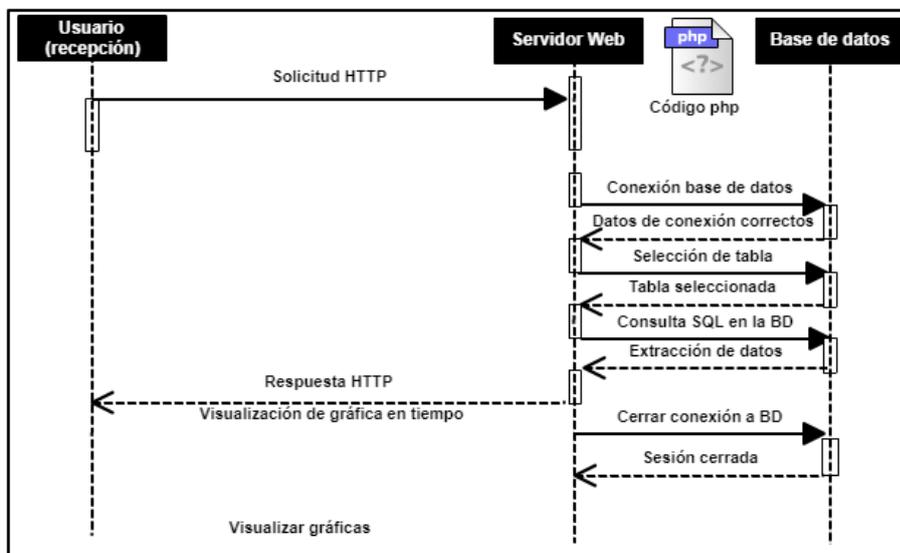


Figura 34. Diagrama de secuencia de la gráfica de variables.

Descarga de información

Para extraer la información almacenada en la base de datos, se realizó a través de un fichero PHP que permite la exportación de datos en un formato de Excel, utilizando librerías almacenadas anteriormente en el servidor Web. Y para su descarga solo es necesario dar clic en el hipervínculo guardar datos. A continuación en la figura 35, se muestra el diagrama de secuencia utilizado para este proceso.

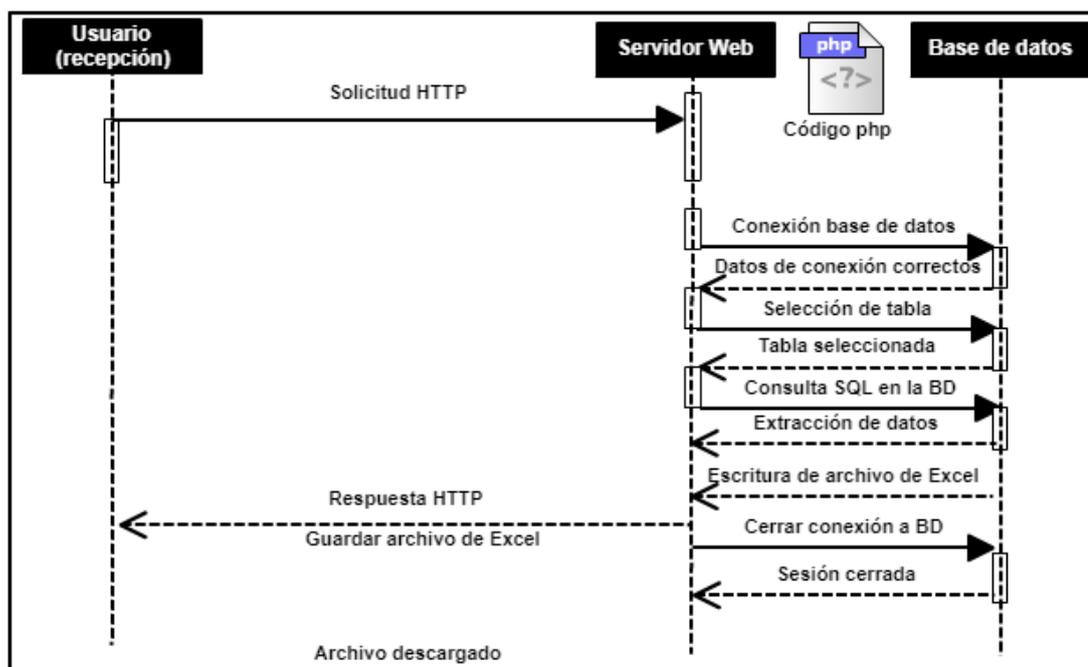


Figura 35. Diagrama de secuencia para descargar información almacenada.

4.1.5 Análisis de información de la base de datos

Para realizar el análisis de los datos recolectados por los dispositivos de medición, en primer lugar es necesario descargar la información del sitio Web.

El registro de información diaria fue de 288 datos por dispositivo de medición, el cual se redujo mediante promedios de 30 minutos a 48 datos por día, debido a que existen 5 datos redundantes cada 30 minutos, utilizando hojas de cálculo de Microsoft Office Excel, tanto para los datos de temperatura y humedad del ambiente. Se registró alrededor de 60480 datos reducidos a 30 minutos para los 30 días.

Luego a través de un proceso de clasificación que se realizó utilizando Excel, se dividió con las siguiente estructura, en la figura 36, se muestra la secuencia de organización la información.

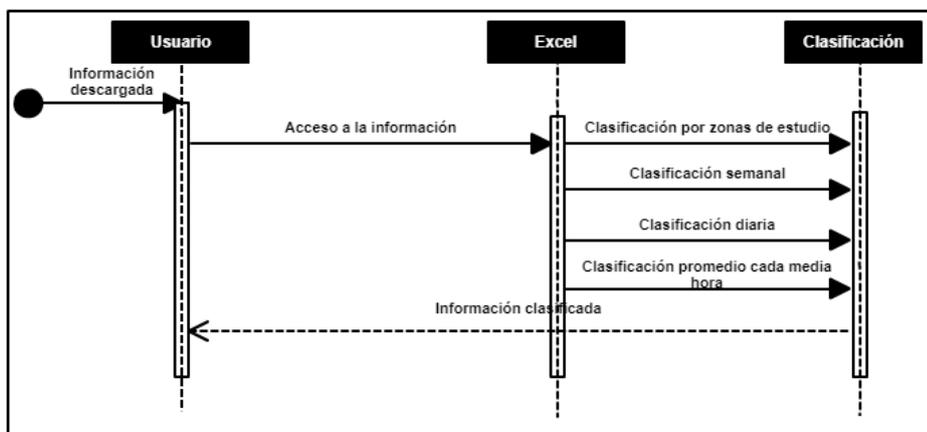


Figura 36. Secuencia de clasificación de datos.

Como indica Pareja Millán (2008), para el proceso de identificación de microclimas de las zonas de estudio, se utilizan las isolíneas para representar la distribución de la temperatura y la humedad del ambiente. Mediante programas como Arcgis, se elaboran estos mapas empleando diferentes métodos de interpolación de datos para encontrar la relación existente entre ellos.

Realizado el proceso de clasificación, se procedió a utilizar el software Arcgis que contribuyó al proceso de identificación de los microclimas de cada zona de estudio, mediante mapas de calor. En la figura 37 se muestra el proceso utilizado.

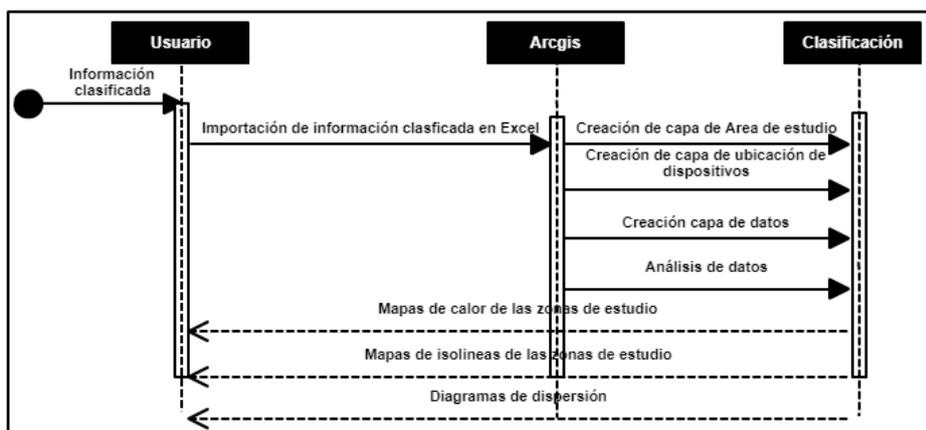


Figura 37. Secuencia de análisis en Arcgis.

4.1.6 Definición de protocolos de pruebas

Para determinar que la implementación fue correcta y validar su funcionamiento se establece el siguiente protocolo de pruebas para cada sección del sistema de monitorización.

4.1.6.1 Prueba 1: Sensores

Esta prueba tiene como objetivo verificar el funcionamiento del dispositivo y sus sensores al obtener medidas de las variables abióticas.

Procedimiento

Paso 1: Encender el dispositivo e inicializar la carga del programa de prueba.

Paso 2: Abrir el monitor serial del IDE Arduino.

Paso 3: Verificar la ejecución del programa y los valores entregados por los sensores, durante un tiempo de prueba de 1 hora en el ambiente, sensando cada 5 minutos.

Paso 4: Controlar la recolección de datos.

Paso 5: Analizar y comprobar los resultados.

Utilizar otro dispositivo y repetir los pasos 1 a 5, con el objetivo de validar todos los dispositivos del sistema.

4.1.6.2 Prueba 2: Comunicaciones

Esta prueba consiste en verificar la conectividad del módulo WiFi con la red de la zona de estudio.

Paso 1: Encender el dispositivo e inicializar la carga del programa de prueba.

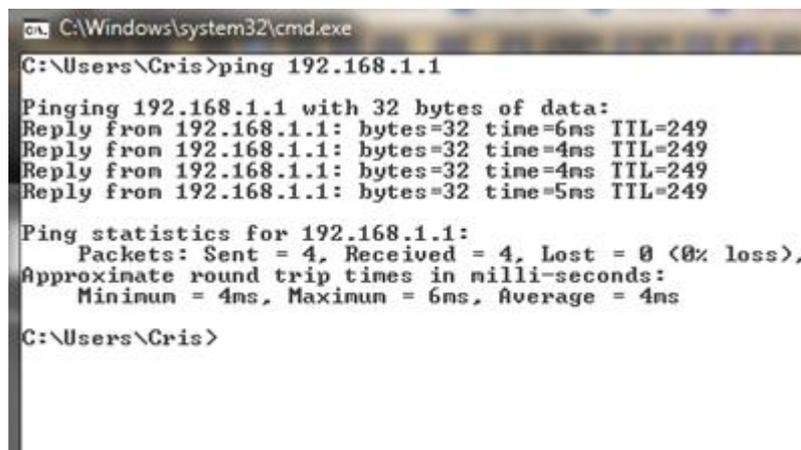
Paso 2: Abrir el monitor serial del IDE Arduino.

Paso 3: Verificar la ejecución del programa en el monitor serial, SSID de la red, Clave de acceso.

Paso 4: Una vez conectado con el comando AT+CIFSR obtener la dirección lógica del dispositivo (Dirección IP asignada).

Paso 5: Con un computador conectado a la misma red local, realizar un petición ICMP mediante el comando ping hacia el módulo WIFI del dispositivo, durante 10 minutos.

Paso 6: Verificar el la información resumen de cantidad de paquetes perdidos y tiempo de ida y vuelta del paquete.



```

C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\Cris>ping 192.168.1.1

Pinging 192.168.1.1 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=6ms TTL=249
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=5ms TTL=249

Ping statistics for 192.168.1.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 4ms, Maximum = 6ms, Average = 4ms

C:\Users\Cris>

```

Figura 38. Comando ping.

4.1.6.3 Prueba 3: Almacenamiento

Esta prueba consiste en determinar el funcionamiento del método de almacenamiento, verificando los datos enviados con los datos almacenados.

Paso 1: Encender el dispositivo.

Paso 2: Cargar el código de programa del sistema de monitorización.

Paso 3: Abrir el monitor serial del IDE Arduino.

Paso 4: Verificar conexión a red, conexión al servidor y envío de datos mediante los comandos.

Paso 3: Ingresar al servidor Web de forma manual con las credenciales de acceso.

Paso 4: Ingresar a la base de datos indicando usuario y clave de acceso.

Paso 5: Realizar una consulta SQL mediante el comando `$consultasql="SELECT * FROM datos"` para determinar si los datos enviados por el dispositivo de medición fueron almacenados correctamente.

Paso 6: Comparar si los datos obtenidos corresponden a los datos enviados.



Figura 39. Comando de consulta en MySQL.

4.1.6.4 Prueba 4: Sistema de Monitorización de Variables

El objetivo de esta prueba es comprobar el total funcionamiento del sistema de monitorización, así como también el uso de la plataforma Web.

Paso 1: Encender los dispositivos de monitoreo.

Paso 1: Iniciar el programa del sistema de monitorización.

Paso 3: Abrir el monitor serial del IDE Arduino.

Paso 3: Verificar la recolección y envío de datos en el dispositivo

Paso 2: Ingresar al dominio de la plataforma del sistema (www.sistemicro.com).

Paso 4: Elegir una zona de estudio de la página de inicio del sitio Web.

Paso 5: Comprobar que se muestre la información enviada por el dispositivo de medición.

Paso 6: Verificar que la información mostrada en la plataforma Web, sea la enviada por el dispositivo de medición usando el monitor IDE.

Paso 7: Verificar opción de archivo de descarga.

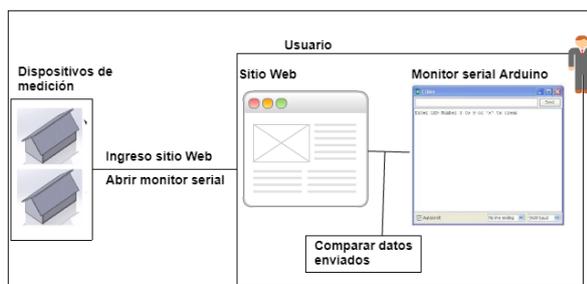


Figura 40. Esquema de prueba.

4.1.6.5 Prueba 5: Análisis de Datos

Esta prueba tiene como objetivo verificar que los datos recolectados permitan establecer semejanzas y diferencias entre las zonas de estudio. A través de un Análisis Multivariable de Varianza (MANOVA) que establece parámetros para determinar la interacción de los resultados en las zonas de estudio de las variables abióticas.

Paso 1: Descargar la información de la plataforma WEB.

Paso 2: Clasificar la información descargada por dispositivo.

Paso 3: Importar hacia SSPS la información guardada en un archivo de Excel.

Paso 4: Analizar los datos mediante la ANOVA de múltiples variables.

Paso 5: Contrastar el resultado del análisis mediante el nivel crítico o significancia.

4.1.6.6 Prueba 6: Identificación usando Arcgis

Esta prueba consiste en utilizar de diagramas de dispersión para mostrar visualmente la relación existente entre dos variables, y con esto se puede contrastar las propiedades de la temperatura y humedad del ambiente para caracterizar el microclima existente en cada zona de estudio.

Paso 1: Descargar la información de la plataforma WEB.

Paso 2: Clasificar la información descargada.

Paso 3: Importar la información clasificada en Arcgis.

Paso 4: Realizar las gráficas de isolíneas de las zonas de estudio.

Paso 5: Realizar los diagramas de dispersión.

Paso 6: Analizar las gráficas obtenidas y contrastar la información obtenida.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Recolección de datos por el dispositivo de medición

5.1.1 Sensores

Se ha realizado la prueba de los 7 módulos y cabe indicar que cada módulo fue probado independiente del día y hora. Para ellos se sigue el procedimiento definido en el protocolo de pruebas descrito en el capítulo anterior para la prueba 1. Se procede a abrir el monitor serial Arduino y verificar que se realice la recolección de datos, los resultados de esta prueba pueden ser vistos en la figura 41, la cual fue realizada en un día soleado entre las 8:00 y 9:00 horas.

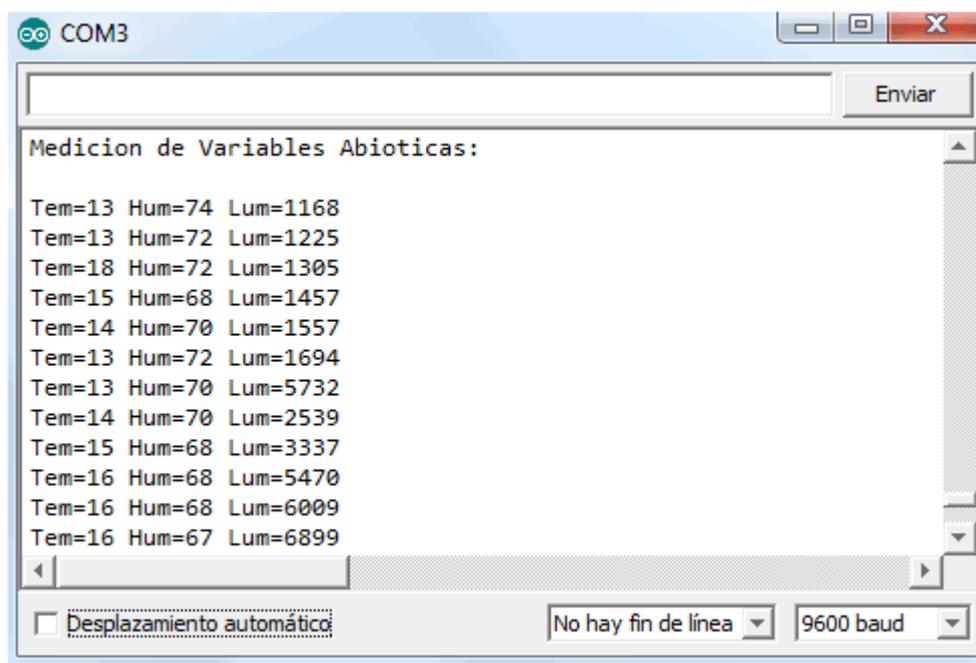


Figura 41. Resultados obtenidos del sensado en el monitor serial.

En base a lo descrito en la figura 40, se puede constatar que existen 12 muestras por hora de cada variable abiótica (temperatura, humedad y luminosidad) con lo que cumple con el requisito del sensado cada 5 minutos para su posterior envío a la BD.

En la figura se puede verificar además la coherencia de los datos tomados para el intervalo de tiempo indicado, ya que la temperatura y luminosidad van en aumento,

mientras que la humedad va disminuyendo; confirmando que existe una relación inversamente proporcional entre la temperatura y humedad que describen las variaciones en el clima como lo mencionan (Nikolopoulou, 2002) (Pareja Millán, 2008) (Nikolopoulou & Lykoudis, 2007b) (Guerrero, 2012) en sus trabajos.

5.1.2 Comunicaciones

La prueba 2 se realizó dentro del campus, donde se procedió a verificar la conectividad de los dispositivos de comunicaciones y que se encuentren en la red inalámbrica determinada, los resultados obtenidos en base a la prueba se muestran en la figura 42:

Tabla 13.

Parámetros de conexión para la prueba de comunicaciones.

DISPOSITIVO	SSID	IP DISPOSITIVO
Z1	ESPE-ZONA-LIBRE	10.1.100.28
Z3	ESPE-ZONA-LIBRE	10.1.101.32
Z4	ESPE-ZONA-LIBRE	10.1.100.14
Z5	ESPE-ZONA-LIBRE	10.1.100.40
Z6	ESPE-ZONA-LIBRE	10.1.101.56
Z7	ESPE-ZONA-LIBRE	10.1.100.43
Z8	ESPE	10.1.100.31

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\Cris>ping 10.1.100.28 -n 549

Pinging 10.1.100.28 with 32 bytes of data:
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=6ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=5ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=6ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=5ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=5ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=6ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=5ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=6ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=5ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=6ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=5ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=6ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=6ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=4ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=5ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=6ms TTL=249
Reply from 10.1.100.28 bytes=32 time=4ms TTL=249

Ping statistics for 10.1.100.28:
    Packets: Sent =549,Received =549,Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 4ms, Maximum = 6ms, Average = 4ms

C:\Users\Cris>

```

Figura 42. Resultado obtenido de la ejecución del comando ping.

Al analizar el resultado obtenido de la ejecución del protocolo **ICMP** del comando **ping** de DOS durante un tiempo de 10 minutos (ver figura 42), se observa la siguiente información: durante el proceso se enviaron 549 paquetes, dando como resultado que el número de paquetes enviados es igual al número de paquetes recibido, por lo que el número de paquetes perdidos durante la prueba fue de 0%. Además el tiempo de ida y vuelta de cada paquete tiene un tiempo mínimo=4ms, tiempo máximo=6ms y un tiempo medio=4ms. Con esta información se corrobora que entre dispositivo de comunicaciones y la red inalámbrica del campus, existe una conexión estable que permitirá el envío de datos.

5.1.3 Almacenamiento

En base a la prueba 3 propuesta para verificar el correcto almacenamiento de datos, se procede a comprobar que la información enviada por uno de los dispositivos de medición sea la misma que se almacenó en la BD. Para realizar este proceso se aplica la sentencia SQL (**SELECT *FROM 'datos'**) para realizar la consulta en la BD. Se

observa la información enviada en el monitor serial Arduino; con lo cual se obtiene el resultado que se muestra en la figura 43:

```

Encendido
AT
OK
AT+CVMODE=1
OK
AT+CWJAP="ESPE", ""
WIFI CONNECTED
WIFI GOT IP
OK
AT+CIPMUX=1
OK
AT+CIPSTART=1, "TCP", "srv06.infranetdns.com", 80
CONNECT
AT+CIPSEND=1, 108
OK
>GET http://sistemicro.com/datos.php?id=Z6&temp=27&humad=20&lum=11015 HTTP/1.1
Host: srv06.infranetdns.com
Recv 108 bytes
SEND OK

```

Showing rows 0 - 24 (1 total, Query took 0.0007 seconds.)

```

SELECT * FROM `datos`

```

Number of rows: 25 Filter rows: Search this table

ID	Temperatura	Humedad	Luminosidad	Tiempo	Fecha
Z6	27	20	11015	11:35:43	2017-04-07

Figura 43. Resultados obtenidos del envío y almacenamiento de datos.

Como se observa en la figura 42, los datos enviados por el dispositivo de medición ID=Z6 (temp=27, hum=20, lum=11015), son idénticos a los datos almacenados en la BD. Con cual se puede verificar que la información enviada por los dispositivos de medición a través de la red inalámbrica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE se almacena correctamente en las columnas de la tabla de la BD.

5.1.4 Sistema de Monitorización de Variables

Para comprobar el funcionamiento del sistema de monitorización, se procedió según el protocolo de prueba 4 el cual permite verificar que la información recolectada

por los dispositivos de medición y almacenada en la BD sea mostrada en la plataforma Web, la figura 44 muestra el resultado obtenido.

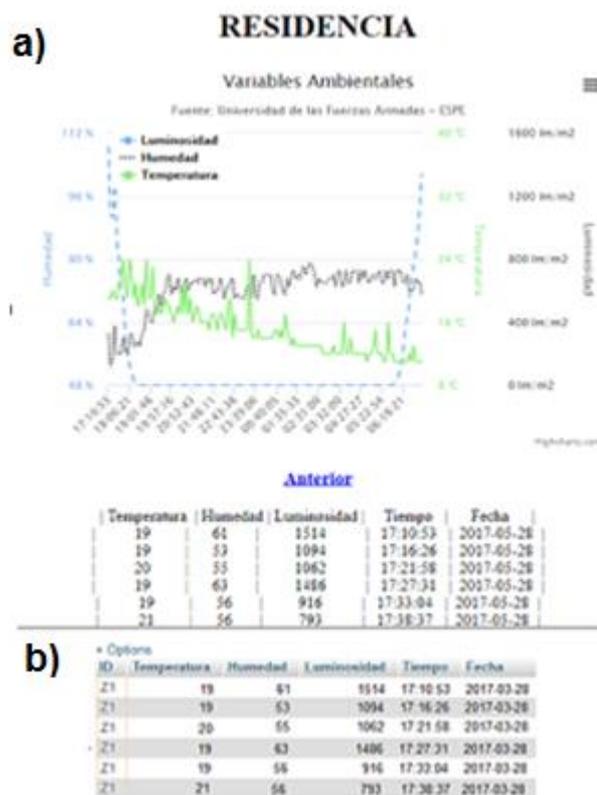


Figura 44. Resultados obtenidos de la prueba del sistema.

En base a la figura 43b), se puede constatar que los datos recolectados por el dispositivo de medición fueron almacenados correctamente en la BD, en la figura 43a) la visualización de la información en la plataforma Web muestra a los datos que se encuentra almacenados en la BD. Si se compra esta imagen y sus datos con la figura 43b) de los datos guardados en la BD se puede verificar que estos son correspondientes.

Además, siguiendo el procedimiento definido en el protocolo de prueba 4 se procede a verificar la opción de guardar datos (**descargar**) en la plataforma Web; el resultado obtenido se muestra en la figura 45.

Residencia

a)

CICTE



Laboratorios

Guardar Datos

b)						c)				
ID	Temperat	Humedad	Luminosic	Tiempo	Fecha	Temperatura	Humedad	Luminosidad	Tiempo	Fecha
2	22	17	47	0	21:49:49	22	17	47	0	21:49:49
3	Z7	26	62	16	21:50:12	Z7	26	62	16	21:50:12
4	Z4	14	71	0	21:50:17	Z4	14	71	0	21:50:17
5	Z1	17	72	0	21:51:30	Z1	17	72	0	21:51:30
6	Z8	21	71	0	21:52:39	Z8	21	71	0	21:52:39
7	Z3	15	60	0	21:52:49	Z3	15	60	0	21:52:49
8	Z2	17	48	0	21:55:17	Z2	17	48	0	21:55:17
9	Z7	25	61	16	21:55:36	Z7	25	61	16	21:55:36
10	Z5	20	50	0	21:55:40	Z5	20	50	0	21:55:40
11	Z4	14	71	0	21:55:47	Z4	14	71	0	21:55:47
12	Z1	17	73	0	21:57:02	Z1	17	73	0	21:57:02
13	Z8	15	72	0	21:58:03	Z8	15	72	0	21:58:03
14	Z3	15	60	0	21:58:12	Z3	15	60	0	21:58:12
15	Z2	17	48	0	22:00:47	Z2	17	48	0	22:00:47
16	Z7	24	63	0	22:01:00	Z7	24	63	0	22:01:00
17	Z5	20	50	0	22:01:10	Z5	20	50	0	22:01:10
18	Z4	14	72	0	22:01:17	Z4	14	72	0	22:01:17

Figura 45. Resultado obtenido de la opción Guardar Datos.

Como se observa en la figura 45, el archivo Excel descargado con la opción **Guardar Datos** (figura 45 a)) corresponde con la información descargada mostrada en pantalla (figura 45 b)) y la guardada en la BD (figura 45 c)).

5.1.5 Análisis de Datos

En esta prueba se analizó la información almacenada en la BD, para lo cual utilizando el programa SPSS se realizó un análisis estadístico multivariable (MANOVA) entre los datos de las zonas de estudio. Como resultado se obtuvo lo siguiente:

H0= Existe relaciones entre las zonas de estudio.

H1= No existe relación entre las zonas de estudio

Cuando $\rho > 0.01$ la hipótesis H0 se comprueba caso contrario se comprueba la hipótesis H1.

Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos en el análisis estadístico multivariable en SPSS, se organizó la información en tablas de resumen.

Temperatura

Variable dependiente	(I) ID	(J) ID	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
Temperatura	HSD Tukey	Z1	Z3	2.4188 [*]	.07014	.000	2.2120	2.6256
		Z4	3.4971 [*]	.06880	.000	3.2942	3.6999	
		Z5	-1.4179 [*]	.07243	.000	-1.6314	-1.2043	
		Z6	.8178 [*]	.07144	.000	.6071	1.0284	
		Z7	-4.0393 [*]	.06863	.000	-4.2417	-3.8370	
		Z8	-1.1905 [*]	.07262	.000	-1.4046	-.9764	

Figura 46. Resultado de SPSS.

Tabla 14.

Resultados MANOVA de Temperatura.

TEMPERATURA (HSD TURKEY)							
ρ	Z1	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Z1	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Z3	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Z4	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000
Z5	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.046
Z6	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000
Z7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000
Z8	0.000	0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	-

Al analizar la información obtenida de la tabla 14, se puede observar que entre Z5 y Z8 existe un $\rho < 0.01$ en el primer análisis (HSD TURKEY) para cual se concluye que existe una diferencia entre todas las zonas de estudio.

Humedad

Humedad	HSD Tukey	Z1	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
			30.7151*	.23113	.000	30.0336	31.3965	
			4.9971*	.22669	.000	4.3287	5.6655	
			28.0276*	.23867	.000	27.3239	28.7313	
			23.7842*	.23540	.000	23.0901	24.4782	
			5.9431*	.22613	.000	5.2764	6.6098	
			31.1798*	.23928	.000	30.4743	31.8853	

Figura 47. Resultados de SPSS.

Tabla 15.

Resultados MANOVA de Humedad.

HUMEDAD (HSD TURKEY)							
ρ	Z1	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Z1	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Z3	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.479
Z4	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.001	0.000
Z5	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.000
Z6	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000
Z7	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	-	0.000
Z8	0.000	0.479	0.000	0.000	0.000	0.000	-

Del análisis de la información de la tabla 15, se muestra que la significancia entre Z3 y Z8 en los dos análisis (HSD TURKEY), $\rho > 0.01$ dando como resultado que estas dos zonas son similares en humedad, mientras que las demás zonas de estudio son independientes entre sí.

Luminosidad

Luminosidad	HSD Tukey	Z1	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
				-4156.6366 [*]	123.33651	.000	-4520.2834	-3792.9897
				-2093.6506 [*]	120.97204	.000	-2450.3261	-1736.9752
				1418.9308 [*]	127.36284	.000	1043.4126	1794.4489
				-2412.5745 [*]	125.61966	.000	-2782.9531	-2042.1960
				2803.7866 [*]	120.67040	.000	2448.0005	3159.5726
				-1547.5584 [*]	127.68645	.000	-1924.0306	-1171.0861

Figura 48. Resultados de SPSS.

Tabla 16.

Resultados MANOVA de Luminosidad.

LUMINOSIDAD (HSD TURKEY)							
ρ	Z1	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Z1	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Z3	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Z4	0.000	0.000	-	0.000	0.149	0.000	0.000
Z5	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.000
Z6	0.000	0.000	0.149	0.000	-	0.000	0.000
Z7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000
Z8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

En la tabla 15 se puede observar que entre Z4 y Z6 para el primer análisis (HSD TURKEY) la significancia $p > 0.01$ con lo que se determina que existe un nivel de similitud entre las dos.

Después de analizar la información se puede corroborar que la significancia entre las zonas de estudio en gran parte es menor que 0.01, con lo que se puede concluir que existe un comportamiento de microclima diferente para cada zona de estudio.

5.1.6 Identificación usando Arcgis

Al usar el software Arcgis para determinar el comportamiento de las variables abióticas, es necesario determinar la relación existen entre ellas para contrastar las propiedades climáticas en cada zona de estudio para lo cual se utilizó diagramas de dispersión.

En la figura 49 se muestra el resultado obtenido en la zona de estudio Z1.

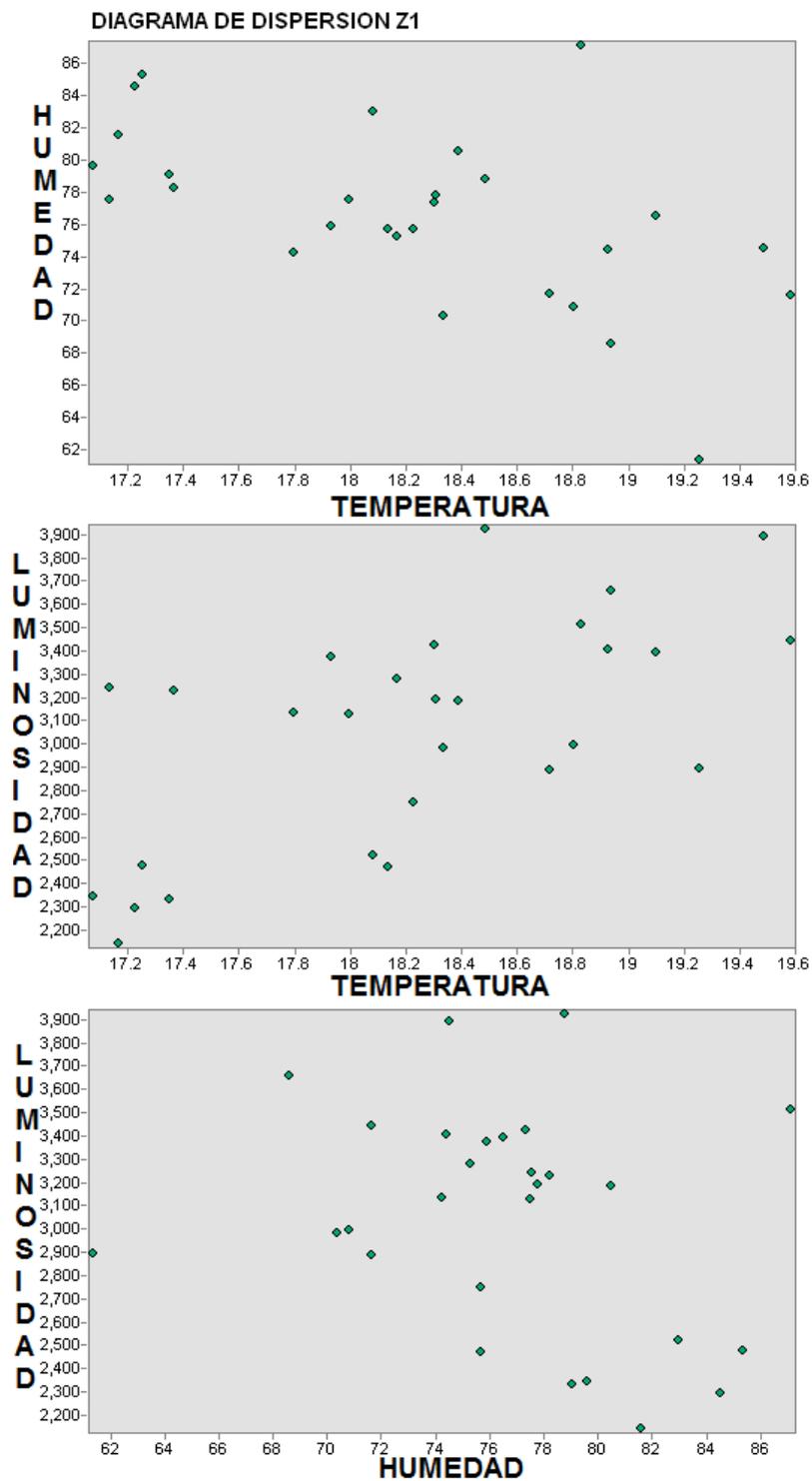


Figura 49. Gráficos de dispersión (TEMXHUM, TEMXLUM, HUMXLUM) Z1.

A partir de los diagramas de las figuras 49, se puede estimar que existe una relación entre la temperatura y humedad que es directamente proporcional; por otro lado también existe una relación directamente proporcional entre la temperatura y la

luminosidad y humedad vs luminosidad; sin embargo en algunas zonas de estudio esta relación no se cumple debido a factores externos como la densidad de edificaciones, presencia de áreas verdes (pequeños bosques) y áreas asfaltadas.

5.2 Sistema de monitorización y la identificación de microclimas

El sistema de monitorización en conjunto muestra la información recolectada de las zonas de estudio dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE a través de una medición de las variables abióticas obtenidas con la red de sensores inalámbricos. Usando la información recolectada se procede a determinar la caracterización de los microclimas de las zonas de estudio, a través de un análisis estadístico multivariable de varianza, medias de las variables en el periodo de tiempo y con la ayuda de mapas digitales del campus universitario que permiten visualizar el comportamiento de las variables utilizando el software Argis.

Argis

Esri, (2017), define a Arcgis como una plataforma exclusivamente de cartografía y análisis que proporciona herramientas para el mapeo y razonamiento espacial, con la posibilidad de explorar datos de diferentes ubicaciones.

En la figura 50, se muestra el esquema general para realizar el análisis de cada zona de estudio.

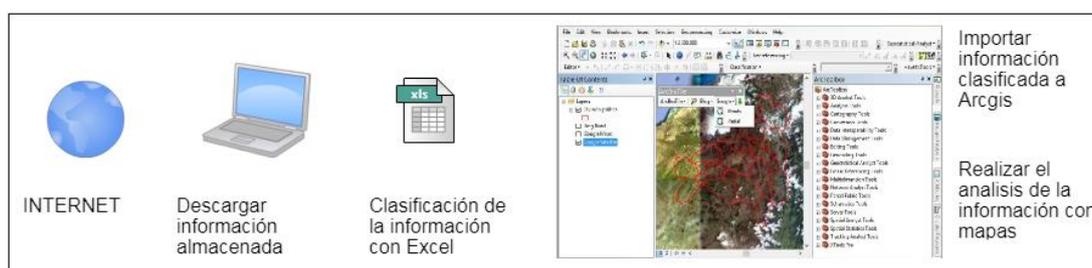


Figura 50. Esquema general del análisis de información.

5.2.1 Resultados Obtenidos

Plataforma Web

Para visualizar la información obtenida de los dispositivos de medición (sensores) de cada zona de estudio que se ha almacenado en la BD del sistema, se hace uso de un

navegador Web, que viene a ser el Front-End de visualización de los datos, donde se observa la variación en el tiempo.

Para mostrar los resultados se toma como ejemplo de los datos del sistema y como referencia la zona de estudio **Residencia**, donde se mostrara gráficamente la variación de temperatura, humedad y luminosidad del ambiente.

Para una visualización más sencilla que permita realizar la verificación y seguimiento de la variación de los datos en el tiempo se ha optado por alojar la plataforma del sistema de monitorización en la nube de Internet a la cual se puede acceder a través de la dirección www.sistemicom.com con cualquier navegador Web.



Figura 51. Página de inicio de la Plataforma Web.

La página de inicio de la plataforma del sistema puede ser observada en la figura 51, la cual indica los diferentes puntos o zonas de estudio en los que se ha recolectado la información.

Ahora, al seleccionar la opción **Residencia**, para conocer las mediciones de temperatura, humedad y luminosidad de esta zona, se presenta una gráfica con los últimos 150 datos recolectados, la cantidad de datos visualizados corresponde al número máximo de datos que puede ser mostrado sin perder la calidad de la imagen o saturación de la página.

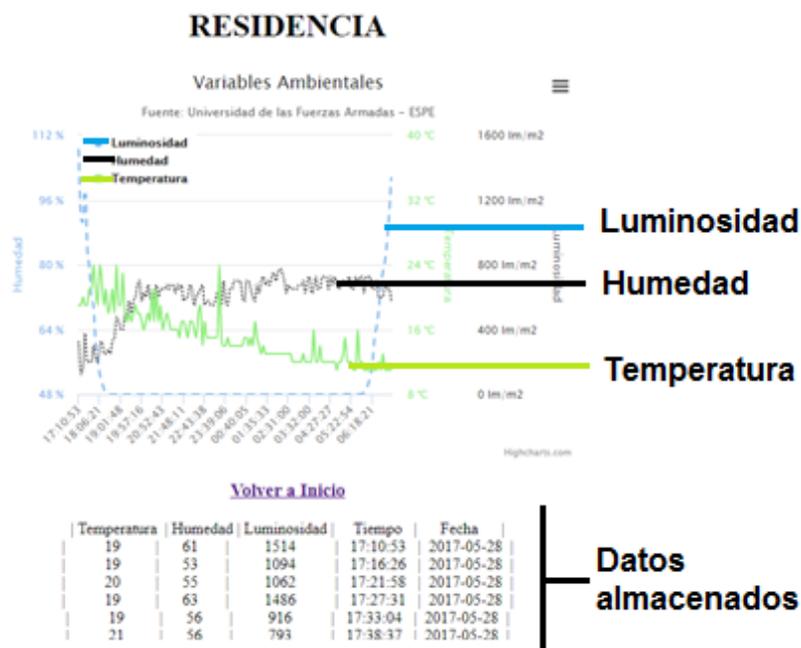


Figura 52. Zona Residencia.

La figura 52 muestra los datos recolectados de las tres variables medidas y una gráfica temporal resultante de los datos recogidos de las variables, además es posible visualizar los últimos 150 datos recogidos. Para observar los resultados de otra zona de estudio simplemente se elige la opción **Volver a Inicio** y se escoge la zona de interés que se quiere observar.

Identificación de microclimas

Para la identificación de microclimas se toman muestras cada 5 minutos con los sensores. Cabe mencionar que las mediciones recolectadas se realizaron durante Abril e inicios de Mayo donde se experimentó una gran variación climática; caracterizada por días que en las mañanas se encontraba soleado y gran radiación solar, mientras que por las tardes y noches era lluvioso y muy húmedo. Estos cambios bruscos del clima durante el día, provocaron en algunas zonas de estudio se experimente altas temperaturas y un aumento de humedad por la mañana debido al clima soleado y la evaporación de las lluvias. En cambio en las tardes y noches se tenía bajas temperaturas y un aumento de humedad.

Luego de la recolección de los datos por los sensores y el almacenamiento en la BD, para determinar la distribución temporal de las variables abióticas que permita

obtener representatividad de cada zona de estudio, la representatividad es definida como la caracterización de cada zona de estudio en función de sus variables abióticas.

Para determinar la distribución temporal de las variables abióticas que permiten la identificación de microclimas, se realiza un análisis estadístico con la representatividad de cada zona de estudio.

Temperatura

Antes de continuar con el análisis, cabe indicar que cada zona de estudio ha sido codificada de la siguiente manera:

- **Z1:** Residencia
- **Z3:** Garita
- **Z4:** Laboratorios
- **Z5:** Bodegas CICTE
- **Z6:** Centro Médico
- **Z7:** Biblioteca
- **Z8:** Departamento de Eléctrica y Electrónica.

Mientras que para los parámetros de medición de los datos tiene la siguiente codificación:

- Media por día: \bar{x}
- Máximo por día: **M**
- Mínimo por día: **m**

El comportamiento de la distribución de temperatura en las zonas de estudio se observa en la anexo 2.

Tabla 17.

Medias, máximos y mínimos semanales de temperatura (°C) del 4 de Abril al 2 de Mayo del 2017.

SEMANA	TEMPERATURA																				
	Z1			Z3			Z4			Z5			Z6			Z7			Z8		
	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m
1	18.8	32	13	16.4	32	9	14.9	25	10	20.3	27	14	18.3	32	11	21.9	27	19	19	30	11
2	18.2	32	12	15.9	31	9	14.4	24	9	19.9	29	14	17.1	31	8	21.9	27	18	21.7	30	10
3	18.7	31	12	15.3	31	9	14.6	28	9	19.9	28	14	18.4	31	11	23.3	28	18	20.2	30	12
4	17.6	31	12	15.8	31	10	14.7	28	9	19.8	28	14	17.1	31	10	22.8	29	19	18.3	30	11

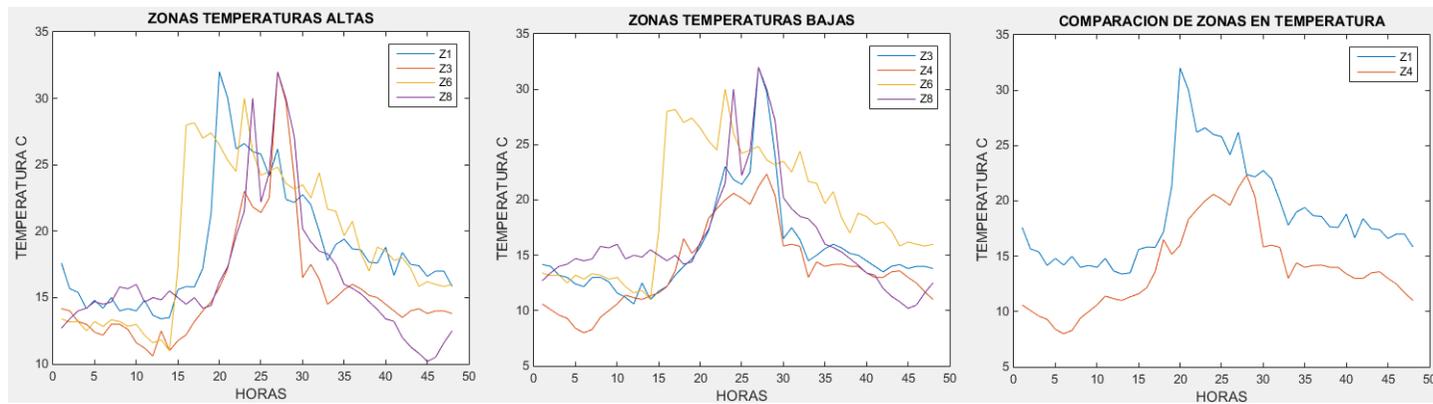


Figura 53. Temperaturas máximas y mínimas de las mediciones de un día.

Análisis temporal

Del análisis de temperatura media, máxima y mínima semanales para cada zona de estudio, usando la información del anexo 2 se realiza el análisis temporal de la variable temperatura durante un mes, los resultados del análisis diario pueden ser observados en la figura 54 donde se visualiza la distribución temporal para todas las zonas de estudio.

Entre las variaciones naturales de la temperatura mostradas en el anexo 2, se destaca que la temperatura media semanal oscila entre 14.4°C y 16.4°C en las zonas **Z4 (laboratorios)** y la **Z3 (garita)**, en donde los dispositivos de medición están en espacios abiertos que poseen baja densidad vegetación y baja densidad de edificaciones.

Según el análisis, para la zona **Z8 (Departamento de Eléctrica y Electrónica)** posee una temperatura media semanal que oscila entre 18.3°C y 21.7°C, teniendo en cuenta que el dispositivo de medición está situado en una zona entre paredes con alta densidad de edificaciones alrededor y baja densidad de vegetación en ciertas horas del día lo cual podría explicar el aumento de temperatura entre las edificaciones. Por otro lado la temperatura media semanal de la **Z1 (residencia)** y el **Z6 (centro médico)** varía entre 17.1°C y 18.8°C, estas zonas que poseen la influencia de áreas verdes (pequeños bosques) alrededor del dispositivo de medición y espacios abiertos alrededor de las edificaciones.

Mientras que **Z5 (bodegas del CICTE)** a pesar de que posee una densidad media de vegetación y tiene baja densidad de edificaciones, su temperatura media semanal oscila entre 19.8°C y 20.3°C posiblemente influenciada por el efecto de áreas asfaltadas, lo que provoca estas variaciones de temperatura que según Dimoudi et al., (2013) se conoce como islas de calor . Una zona en la que se encuentra un área con alta densidad de vegetación y de edificaciones es **Z7 (biblioteca)** donde su temperatura media semanal se encuentre entre 21.9°C y 23.3°C, como se observa es un poco más alta que otras áreas, que de acuerdo Dimoudi et al., (2013) es debido a la concentración de calor producto de las altas densidades de vegetación y edificaciones.

Como se observa en las tablas anteriores y la figura 53 los valores más altos en temperatura máxima se dan en las zonas de: **Z1, Z3, Z6 y Z8** que oscila entre 30°C y

32°C. La temperatura mínima muestra los valores más bajos en las zonas de: **Z3, Z4, Z6 y Z8** que varía entre 8°C y 10°C.

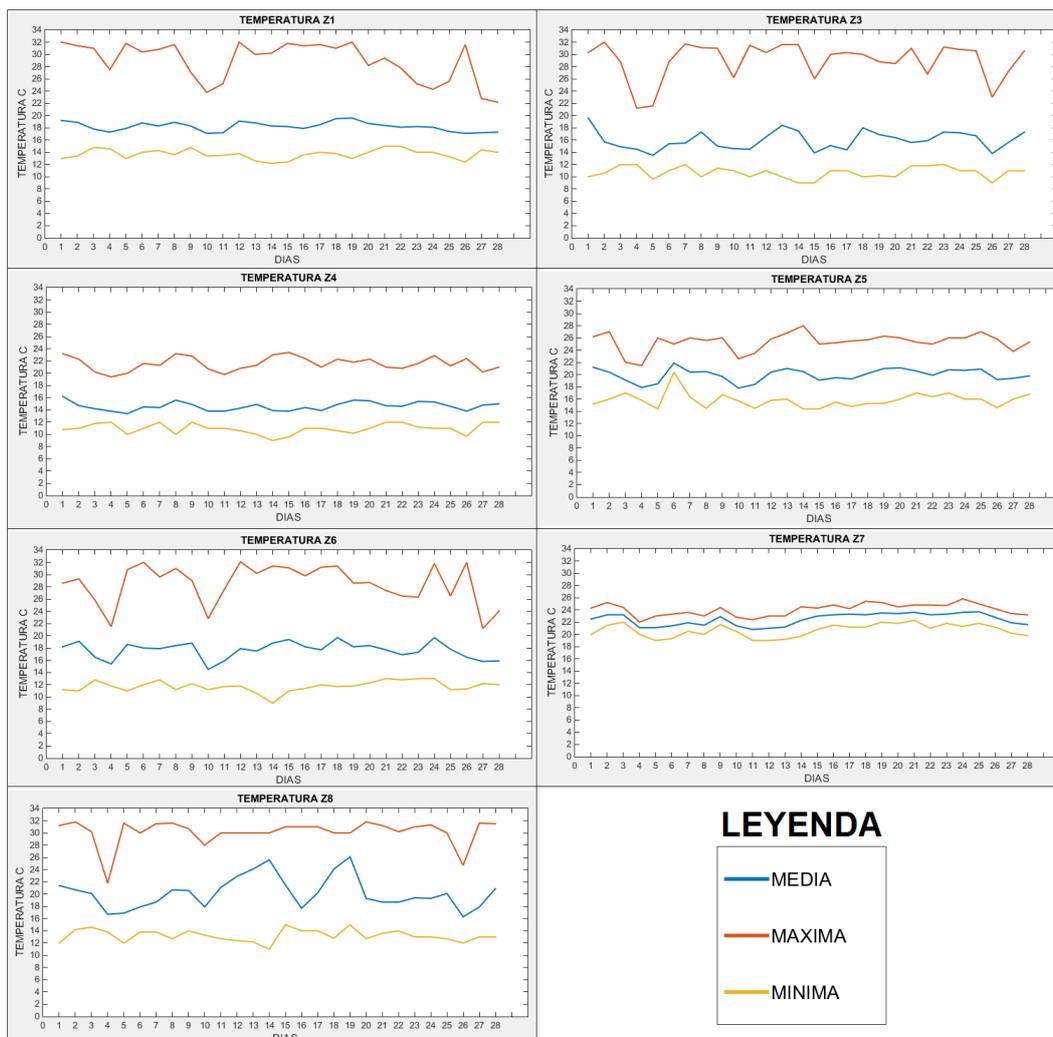


Figura 54. Comportamiento diario de la temperatura.

Mapas de calor del comportamiento de la temperatura

En la figura 55 se observa el comportamiento de la distribución de la temperatura en las zonas de interés de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE durante un día de estudio; estas fueron determinadas mediante el modelo determinístico de interpolación de la **distancia inversa ponderada (IDW)**, basado en datos temporales conocidos. Según Environmental Systems Research Institute, Inc., (2016), se usa cuando existe la suposición de que los puntos de análisis están cerca de otros puntos parecidos no analizados, en comparación de aquellos que están distantes. Con lo cual se predice un valor para cualquier ubicación no medida utilizando los valores medidos que rodean la ubicación de predicción. Se tiene en cuenta que los valores medidos más

cercanos al lugar de predicción tiene mayor influencia sobre el valor predicho que los alejados. De ese modo la superficie resultante asume que el fenómeno modelado es impulsado por la variación local, sin proporcionar errores estándares de predicción.

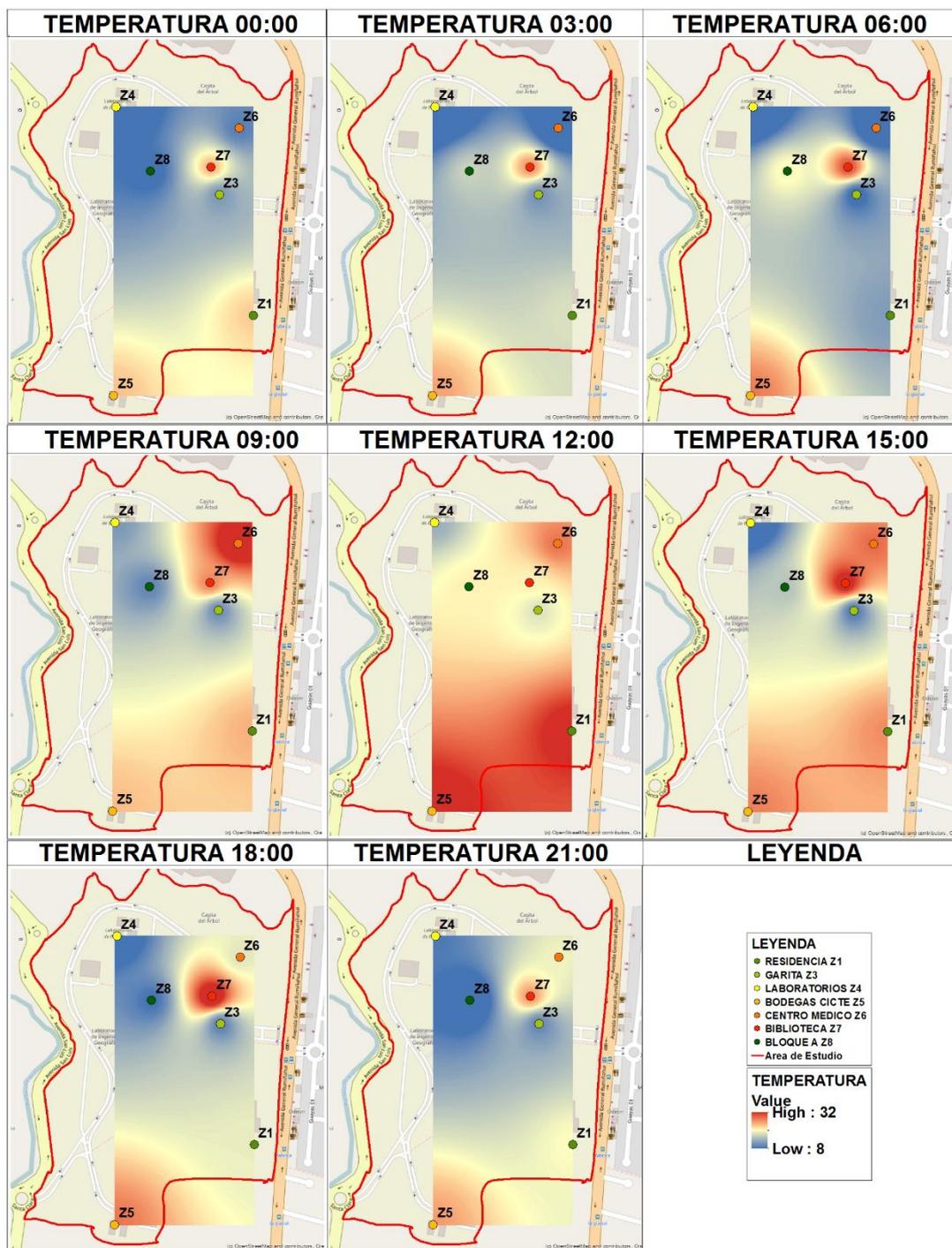


Figura 55. Distribución diaria temporal de temperatura en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE durante un día.

La figura 55 muestra la variación de temperatura en un día de las zonas de interés, por su localización geográfica dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE y su dependencia de factores externos como la densidad de vegetación y edificaciones, presencia de áreas verdes (pequeños bosques) y zonas de asfaltado, lo que explica la gran variación de temperatura que existe en el campus.

Humedad

Según Pareja Millán, (2008) la humedad tiene relación directa con la temperatura y permite describir la ocurrencia y distribución de la precipitación de cada zona de estudio. En el anexo 3, se observa el comportamiento temporal diario, presentando los valores medios durante el periodo de Abril e inicios de Mayo.

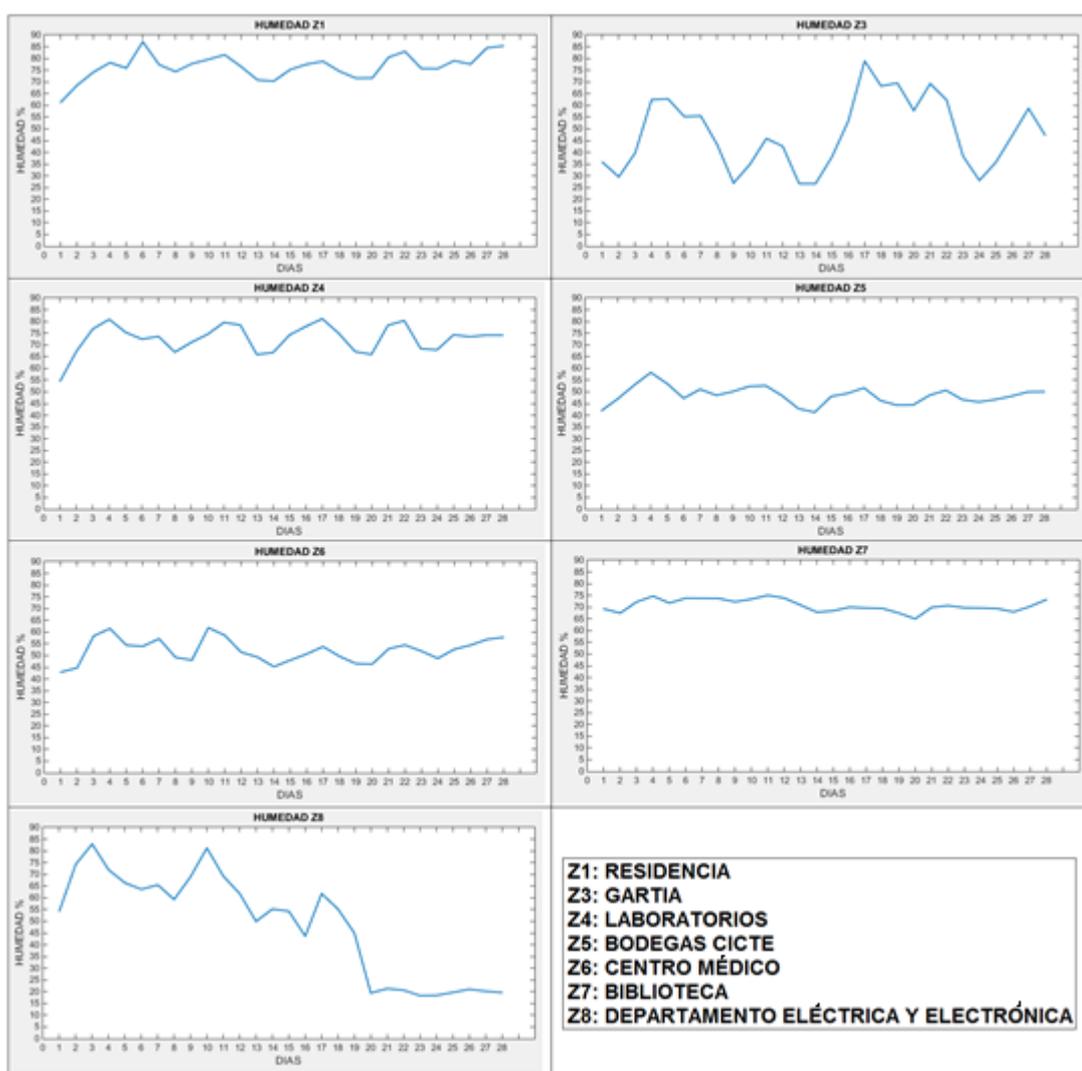


Figura 56. Distribución diaria temporal de humedad.

Al analizar los datos del anexo 3 y ver la figura 56, se observa que existen grandes variaciones entre zonas de estudio. En el protocolo de prueba de análisis de datos determinó que no existe ninguna relación entre zonas, y se contrasta con la información mostrada en la tabla anterior, es decir que ninguna zona de estudio tiene similitud entre ellas y se puede caracterizar independientemente cada zona de interés.

Tabla 18.

Medias, máximos y mínimos semanales de humedad.

ZONAS	HUMEDAD											
	SEMANA 1			SEMANA 2			SEMANA 3			SEMANA 4		
	\bar{x}	M	m									
Z1	76	95	27	76	92	6	76	93	5	70	95	8
Z3	44	82	5	33	70	5	34	95	7	47	93	7
Z4	70	91	27	72	94	28	75	95	35	73	92	42
Z5	47	66	18	48	65	18	48	66	19	49	60	29
Z6	54	74	13	53	75	14	60	70	13	54	71	14
Z7	73	83	55	72	84	61	69	80	54	70	80	61
Z8	81	84	1	83	95	0	82	86	0	81	84	0

Análisis temporal

En las variaciones de humedad se muestra que la humedad promedio semanal es mayor a 80% en **Z8**. Por otro lado en las zonas **Z1**, **Z4**, **Z6** y **Z7** oscila entre 53% y 76%. Mientras que las zonas con menor humedad se encuentran en **Z3** y **Z5**, en donde la humedad promedio es menor a 50%.

La ubicación de los dispositivos de medición y agentes externos (densidad de vegetación y edificaciones) explican los niveles promedio de humedad, ver figura 57.

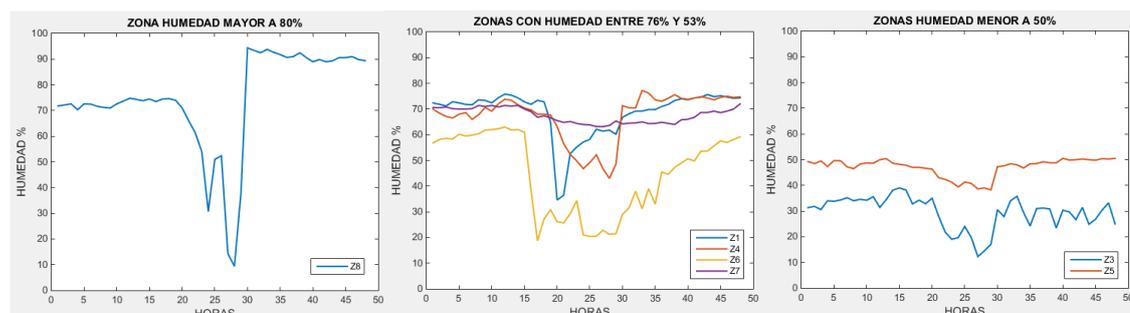


Figura 57. Distribución temporal de humedad para las mediciones de un día.

Mapas de distribución del comportamiento de humedad

La figura 58 se muestra el comportamiento de la humedad en las zonas de estudio en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE durante un día.

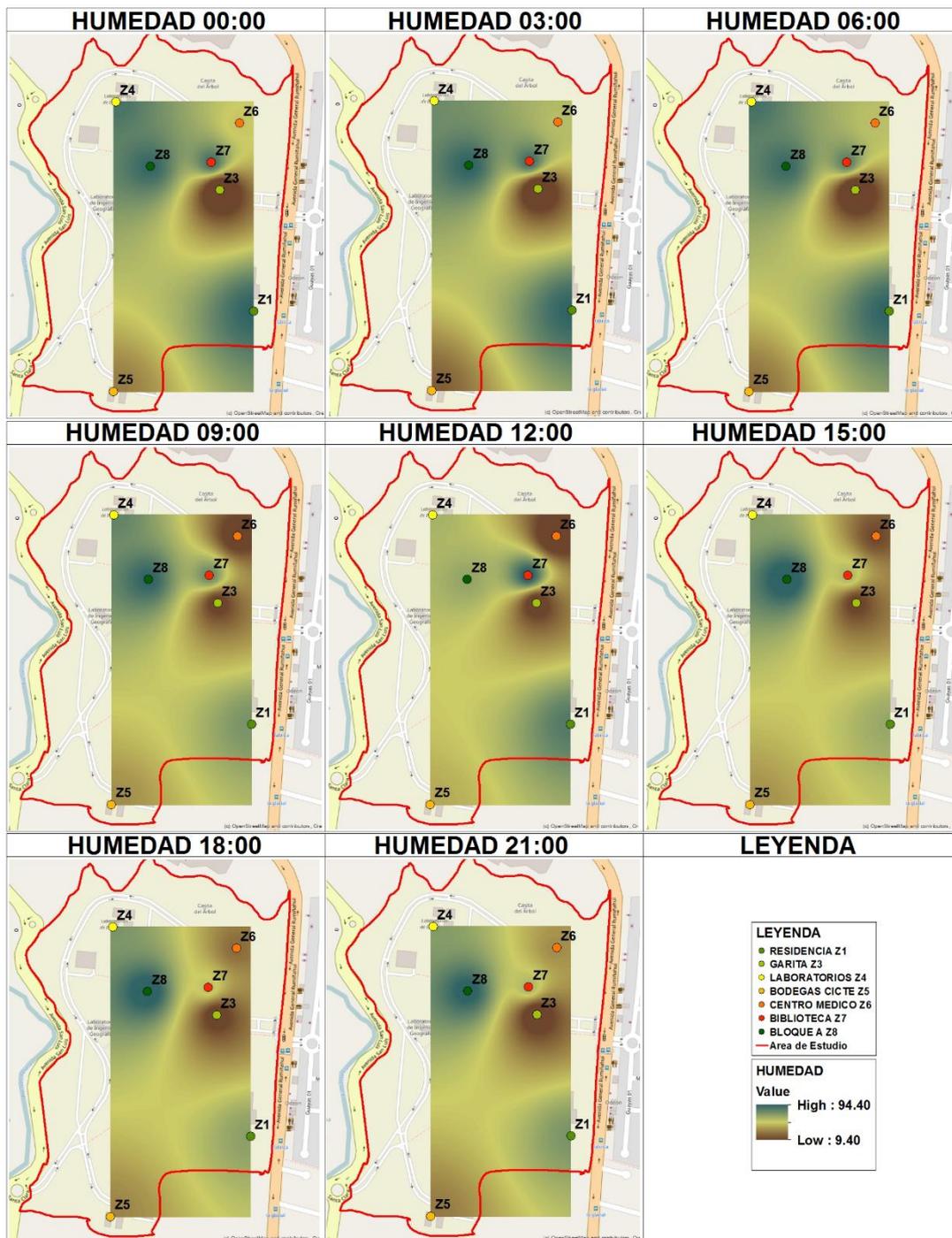


Figura 58. Distribución diaria temporal de humedad.

Debido a los cambios climáticos (lluvia y sol) que se produjeron durante la recolección de datos. En la figura 58 se puede ver que la humedad en varias zonas de estudio tiende a aumentar o disminuir debido estos cambios, lo cual se explican más adelante.

Luminosidad

Según Pareja Millán, (2008) el nivel de luz que se recibe en cualquier área es uno de los factores que determinan la caracterización climática de las zonas de estudio, ya que este factor está relacionado inversamente con elementos como la temperatura y la humedad. Los niveles de luminosidad captados por el sensor se rigen bajo la siguiente curva (ver figura 58) y la tabla 21, ver figura 59. En el anexo 4, se observa el comportamiento temporal diario, presentando los valores medios.

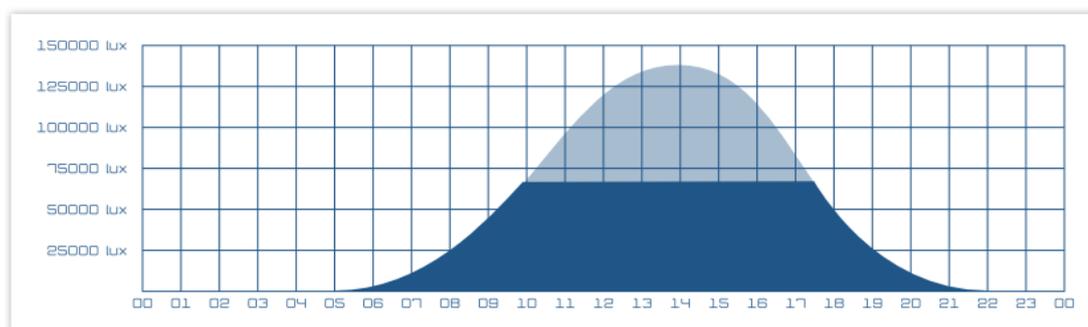


Figura 59. Iluminación solar del día respecto al sensor BH1750.

Fuente: (Ventura, 2016)

Tabla 19.

Referencia de luminosidad según (Llamas, 2016).

Situación	Luxes
Noche	0.001-0.02
Luna llena	0.2-0.6
Día nublado	5-50
Día seminublado	50-500
Día soleado en áreas con sombras	100-1000
Día soleado	>1000
Bajo luz directa del sol	100000

Tabla 20.**Promedios semanales de luminosidad.**

ZONAS	LUMINOSIDAD			
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4
Z1	3276	2808	3379	2586
Z3	7698	7317	6673	7600
Z4	5313	4428	4680	5226
Z5	1761	1341	1466	1502
Z6	7898	5724	6113	5691
Z7	8463	7008	7526	8532
Z8	4549	5365	3664	4229

Análisis temporal

El análisis temporal de la variable luminosidad fue realizado durante un mes, en la figura 60 se puede observar la distribución temporal para todas las zonas de estudio, mientras en el anexo 4 se presenta la luminosidad media para cada zona.

El nivel de luz de cada zona de estudio es mostrado en el anexo 4, se destaca que el nivel de luz media semanal oscila entre 8532 lux y 5691 lux en las zonas **Z3**, **Z6** y **Z7** zonas en donde los dispositivos de medición están en espacios abiertos con baja densidad de edificaciones razón por la cual su nivel de luminosidad es alto, ya que no existe la presencia de sombras.

Para las zonas **Z4** y **Z8**, el nivel de luz oscila entre 5365 lux y 4428 lux, teniendo en cuenta que estas zonas tienen baja densidad de vegetación sin embargo existe un nivel medio de densidad de edificaciones, factor que explica la disminución de luminosidad respecto a las zonas con mayor nivel de luminosidad y es debido a que las edificaciones producen áreas con sombras.

Por otro lado para **Z1** y **Z5**, tienen un nivel de luz que oscila entre 3379 lux y 1341 lux, estas zonas tienen efectos de áreas verdes (pequeños bosques) lo que explica los niveles bajos de luz y la formación de áreas con sombras.

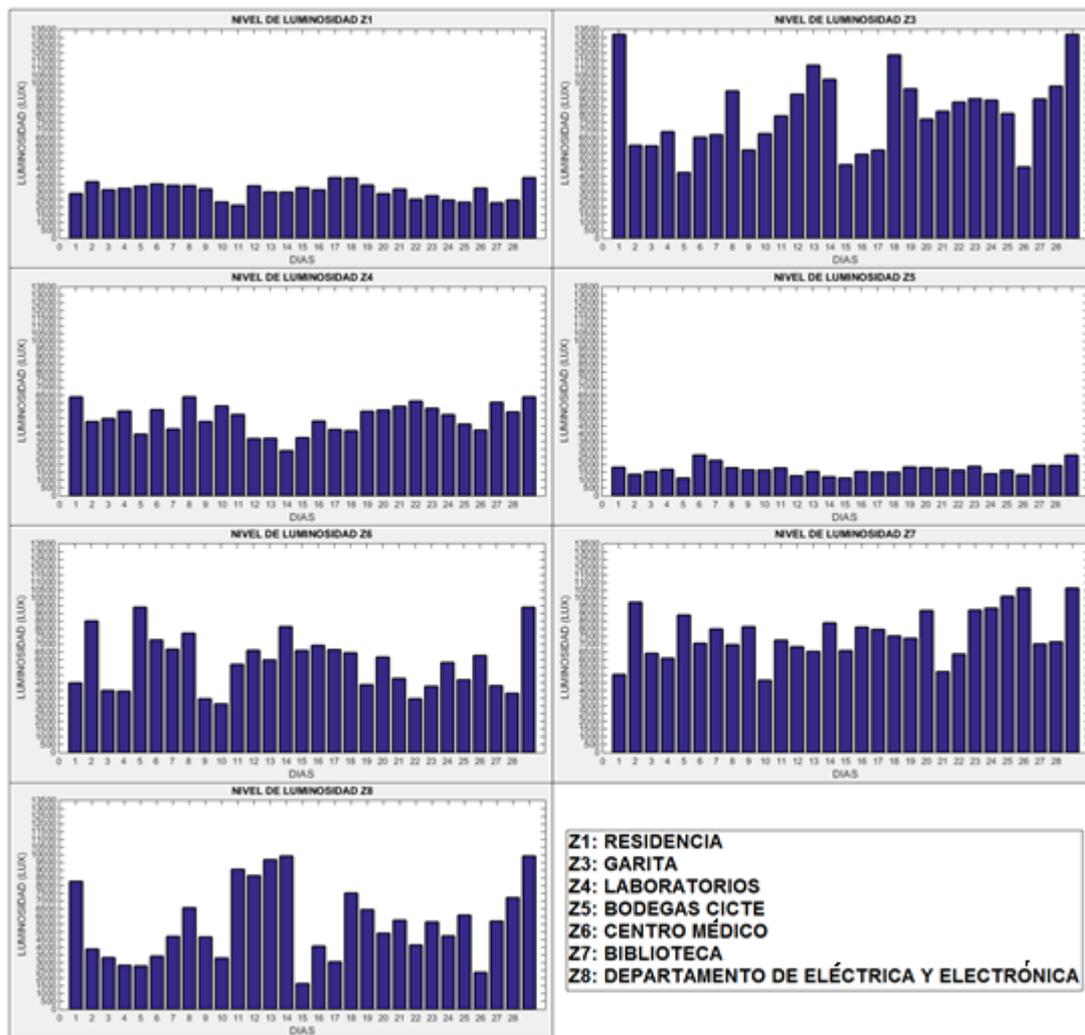


Figura 60. Distribución diaria temporal de luminosidad.

Los cambios de nivel de luminosidad son producidos por factores como: ubicación de los dispositivos de medición, presencia de áreas verdes (pequeños bosques) y alta densidad de edificaciones estos factores producen áreas de sombreado la cual afecta directamente a la temperatura y humedad, es decir que cuando existe presencia de áreas sombreadas la temperatura disminuye y la humedad aumenta y viceversa.

En la figura 61 se muestra el comportamiento de la luminosidad durante un día, que experimentan las zonas de estudio.

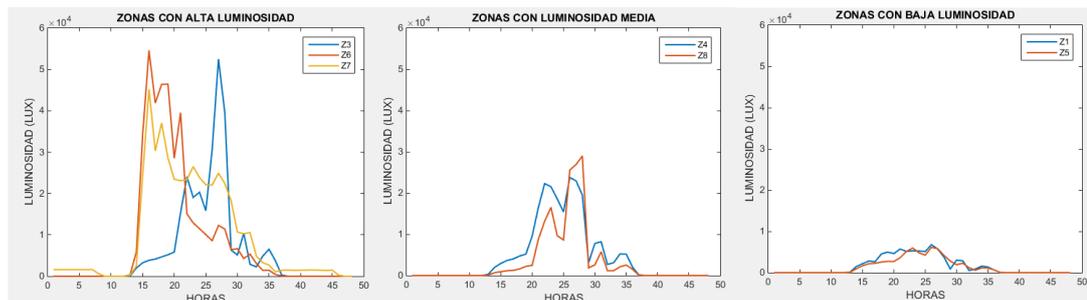


Figura 61. Distribución temporal de luminosidad para las mediciones de un día.

Mapas de distribución del comportamiento de luminosidad

En la figura 62 se muestra el mapa del comportamiento de la distribución del nivel de luminosidad durante el transcurso de un día en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Los factores como áreas verdes (pequeños bosques) y densidad de edificaciones producen la formación de sombras alrededor del dispositivo de medición, por lo cual algunas zonas de interés tienden a producirse cambios drásticos en respecto al nivel de luminosidad que directamente afecta a las demás variables abióticas (temperatura y humedad).

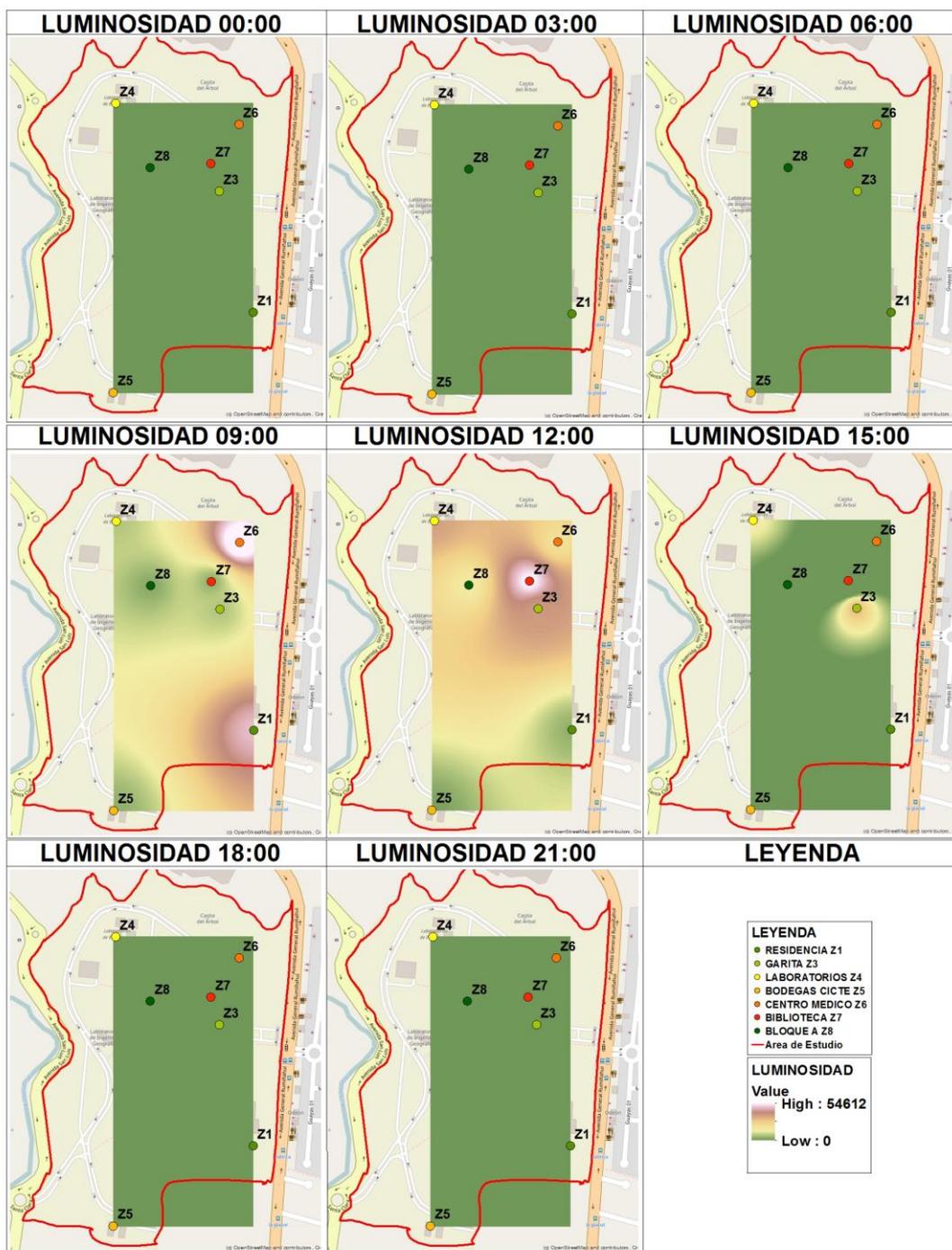


Figura 62. Distribución diaria temporal de luminosidad.

Clasificación microclimática

La zonificación microclimática se realiza en base al análisis para cada variable según (IDEAM & FOPAE, s. f.) (ver tabla 24), que influye directa e indirectamente con la variación climática de cada zona de estudio. Por lo tanto se definen la siguiente clasificación:

Tabla 21.

Clasificación climática según (IDEAM & FOPAE, s. f.)

Clase de Clima	Temperatura (°C)	Humedad %
Semiseco	<15	<45
Semihúmedo	18-20	40-50
Ligeramente húmedo	17-20	50-60
Moderadamente húmedo	20-22	70-80
Húmedo	16-18	70-80
Muy húmedo	14-15	65-75
Super húmedo	18-20	>80

Zonas semisecas: Z3 (Garita)

La temperatura promedio en esta zona se encuentra entre 15.3°C y 16.4°C y sus niveles de humedad oscilan entre 33% y 47% siendo los niveles más bajos registrados las zonas de estudio, además la luminosidad varía entre 6673 lux y 7698 lux. La baja temperatura registrada en esta zona es debido a la presencia de áreas verdes que producen sombras, sin embargo el nivel de luminosidad que recibe esta área explica que la humedad se encuentre en niveles bajos, este microclima se presenta en la **garita**.

Zonas semihúmedas: Z5 (Bodegas CICTE)

En esta zona la temperatura promedio se encuentra entre 19.8°C y 20.3°C, mientras que los niveles de humedad oscilan entre 47% y 49%, sin embargo en esta zona la luminosidad varía entre 1341 lux y 1761 lux. Este fenómeno de existe menores niveles de luminosidad y mayor temperatura es producto de áreas asfaltas (islas de calor) que se encuentran cercanas a la localización del dispositivo de medición lo que explica la característica de esta zona; este microclima corresponde a las **bodegas CICTE**.

Zonas ligeramente húmedas: Z6 (Centro médico)

Este microclima se presenta en el **centro médico**, en donde su temperatura promedio oscila entre 17.1°C y 18.4°C, mientras que los niveles de humedad se encuentran entre 50% y 54%, por otro lado la presencia de áreas verdes (pequeños bosques) explican los niveles de humedad que existen en la zona de estudio, mientras que los niveles de luminosidad registrados durante el estudio oscilan entre 5691 lux y 7898 lux.

Zonas moderadamente húmedas: Z7 (Biblioteca)

En esta zona microclimática la temperatura promedio durante el tiempo de estudio oscila entre 21.9°C y 23.3°C, área en la cual existe mayor presencia de niveles de luminosidad que varían entre 7008 lux y 8532 lux; además la presencia de altos niveles de densidad de edificaciones y vegetación provocan que existe mayor evaporación de agua producto de las lluvias que se presentaban en las tardes y noches, por lo que los niveles de humedad promedio oscilaban entre 70% y 80%. Este microclima es característico de la **biblioteca**.

Zonas húmedas: Z1 (Residencia)

Esta zona se caracteriza con una temperatura promedio que oscila entre 17.6°C y 18.8°C, un nivel de humedad que se encuentra entre 76% y 80% y niveles de luminosidad que oscilan entre 2596 lux y 3276 lux. En esta zona existe la presencia que áreas verdes (pequeños bosques) lo que explica los niveles de humedad y la poca presencia de luminosidad en el ambiente, este microclima corresponde a la **residencia**.

Zonas muy húmedas: Z4 (Laboratorios de electrónica)

Se refiere a las áreas en donde la temperatura promedio oscila entre 14.4°C y 14.9°C, con niveles de humedad que se encuentra entre 69% y 75% y en donde la luminosidad varía entre 4428 lux y 5313 lux. En esta zona existe un nivel medio en densidad de edificaciones y vegetación, además que se encuentra en un área totalmente abierta estos factores influyen directamente con la caracterización de esta zona. Este microclima se localiza en los **laboratorios** de la Facultad de Electrónica.

Zonas superhúmedas: Z8 (Bloque Administraivo)

El área representativa de este microclima es el **Departamento de Eléctrica y Electrónica**, que está definida por una temperatura promedio que oscila entre 18.3°C y 21.7°C, niveles de humedad que varían entre 80% y 84% y la presencia de niveles de luminosidad que se encuentra entre 3664 lux y 5365 lux. Esta zona se encuentra un área cerrada por la presencia de edificaciones y una baja densidad de vegetación, lo que provoca que reciba menores horas de sol que las demás zonas de estudio, además que cuando se produce la evaporación de la lluvia exista mayor concentración de humedad en el ambiente.

En la figura 63 se muestra el mapa resumen de los microclimas del campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

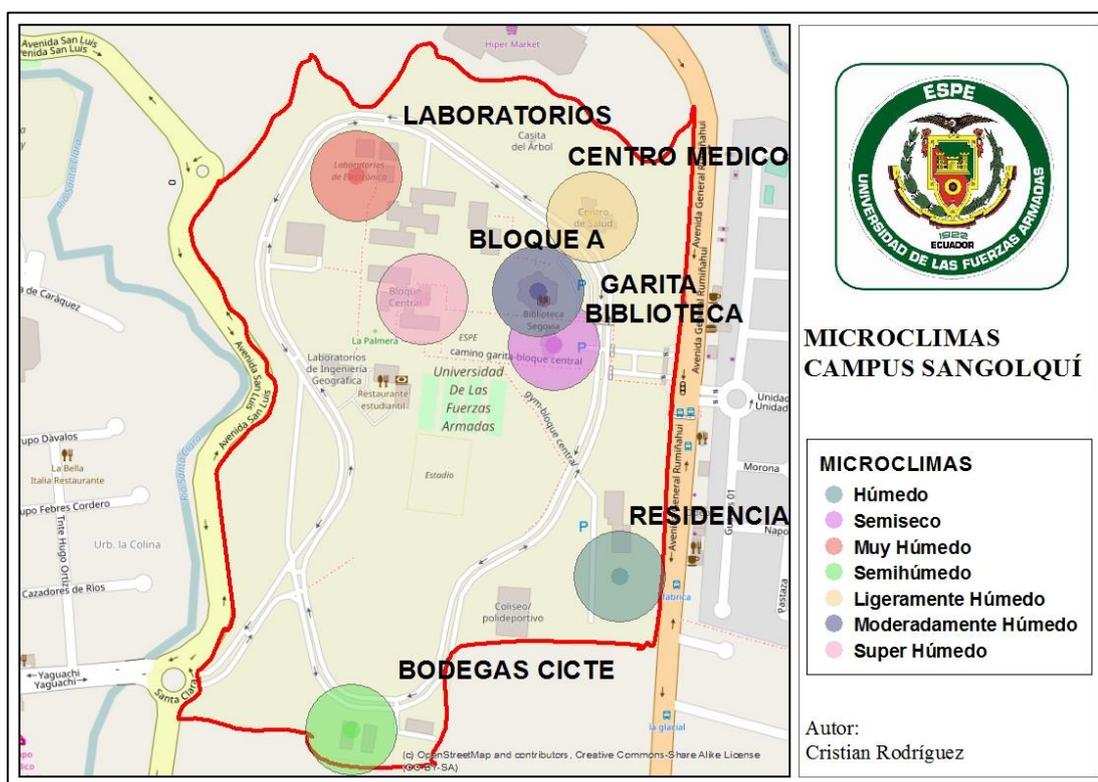


Figura 63. Microclimas campus Sangolquí.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 Conclusiones

La cobertura de la red inalámbrica del Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE tiene una arquitectura de red conformada por puntos de acceso con salida a Internet distribuidos a lo largo del campus; esta red se utilizó para este proyecto. Sin embargo debido a la cantidad de usuarios que utilizan la red, las prestaciones brindadas en ciertos momentos, cuando existe una masiva conexión de usuarios a la red, la disponibilidad del servicio de Internet se vuelve intermitente o saturada.

A través de un trabajo conjunto entre los análisis estadísticos y mapas de la distribución del comportamiento de las variables abióticas, se pudo obtener e identificar las características de los microclimas que existen en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE campus Sangolquí. Según el análisis estadístico de las medias y varianzas (MANOVA) se obtuvo una significancia menor que 0.01 en la mayoría de los casos para las variables de temperatura, humedad y luminosidad lo que implica que no se cumple la hipótesis nula de que las zonas son iguales, es decir que las zonas son independientes en sus microclimas basados en las variables abióticas medidas.

La selección de las zonas de interés dentro del campus universitario, depende de la distribución en el campus de la densidad de edificaciones, presencia de áreas verdes y zonas asfaltadas, así como también de la existencia de cubrimiento de redes WiFi y puntos eléctricos para alimentar los dispositivos de medición.

Las variables abióticas que sufren mayores influencias en el transcurso del día dentro de las zonas de estudio fueron la temperatura, la humedad y la luminosidad, influenciadas por la presencia de edificaciones, áreas verdes (pequeños bosques) y zonas asfaltadas. Estas variables permitieron realizar el análisis para identificación de los microclimas teniendo en cuenta la influencia de los factores climáticos y las estructuras a su alrededor.

Para que el sistema de monitorización permita cubrir y visualizar en cualquier lugar fuera de la red de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE las variaciones de las zonas de estudio; se optó por utilizar un alojamiento Web en la nube de Internet, con el fin de que los dispositivos con acceso a Internet establezcan un canal de comunicación al servidor y de esta manera realizar la recopilación de información durante el tiempo de estudio, en este servicio Web.

El código de programa que permite la recopilación y envío de datos para la placa Arduino, es de vital importancia, puesto que además de la recolección de datos permitió realizar tareas como el control de los sensores (temperatura, humedad y luminosidad) y módulo WiFi, evitando que el dispositivo de medición llegue a colgarse o funcione incorrectamente, de tal manera que el dispositivo de medición no realice el sensado de las variables abióticas en el ambiente.

Para la implementación de la plataforma Web se utilizó la arquitectura cliente-servidor que permite establecer un canal de comunicación para el intercambio de información a través del protocolo HTTP entre los dispositivos, el servidor y la BD para cumplir con los requerimientos del sistema.

Durante la etapa de recolección de datos entre Abril e inicio de Mayo, la variación climática que se tuvo durante el periodo de monitoreo permitió obtener la muestra de datos en diferentes tipos de ambientes climáticos, por lo que se contó con días soleados, días lluviosos y una mezcla de estos últimos.

El análisis estadístico multivariable de varianza (MANOVA) permitió identificar las interacciones entre las variables independientes y su grado de asociación con las variables dependientes, considerando que este tipo de análisis contrasta los distintos niveles de varios factores en el comportamiento de una variable a través de un nivel de significación o aceptación. Además que con el análisis estadístico de medias se contrastó a partir de casos univariantes, es decir un análisis independiente de para cada una de las variables abióticas (temperatura, humedad y luminosidad).

A partir de los mapas digitales del campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, se consiguió graficar la distribución del comportamiento temporal diario de cada una de las variables abióticas, que permitió al programa Arcgis realizar una interpolación de datos recolectados para establecer el comportamiento de las variables en áreas en donde no se encontraba un dispositivo de medición.

Debido a que existe una correlación entre las variables de temperatura, humedad y luminosidad, y basados en los estudio realizados por Pareja Millán, (2008), IDEAM & FOPAE, (s. f.), Nikolopoulou & Lykoudis, (2007) y Dimoudi et al., (2013), se tuvo en consideración la ubicación geográfica y los fenómenos externos (densidad de edificaciones, áreas verdes (pequeños bosques) y zonas asfaltadas) para realizar la clasificación climática de Thornthwaite, en donde se establece varios tipos de climas los cuales como: Semiseco, Semihúmedo, Ligeramente húmedo, moderadamente húmedo, húmedo, muy húmedo y super húmedo.

De acuerdo a la clasificación de microclimas de Thornthwaite, se tuvo que: la garita (Z3) tiene un microclima semiseco, las bodegas del CICTE (Z5) un microclima semihúmedo, el centro médico (Z6) un microclima ligeramente húmedo, la biblioteca (Z7) un microclima moderadamente húmedo, la residencia (Z1) un microclima húmedo, los laboratorios (Z4) un microclima muy húmedo y para el Departamento de Eléctrica y Electrónica (Z8) un microclima super húmedo.

6.2 Recomendaciones

Para realizar la identificación de microclimas, es necesario que los dispositivos de medición cuenten con una buena conexión a Internet, para que de esta manera se asegure que no exista pérdida de datos, lo cual permitirá que se cuenta con gran cantidad de información para realizar el respectivo análisis y la caracterización de la zona de estudio.

Para el desarrollo del programa Arduino y la plataforma Web, se recomienda utilizar algoritmos simples que permitan que tanto el dispositivo de medición y la plataforma Web no comprometan la velocidad, funcionabilidad y usabilidad del sistema de monitorización, además el sistema debe ser amigable para el usuario.

Para la implementación de la carcasa del dispositivo de medición, se recomienda utilizar materiales que permitan absorción de calor, protección de los elementos eléctricos internos (la placa de desarrollo, sensores y módulo de comunicación Wifi), así como también resista los cambios climáticos que pueden darse a lo largo de la investigación.

Para la implementación de la plataforma Web, se recomienda buscar un alojamiento Web en la nube de Internet que permita realizar gran número de accesos

o solicitudes hacia su servidor para evitar la caída de la plataforma Web, o a su vez reducir el tiempo de recolección de datos.

Es recomendable que la obtención de datos incluya periodos de recolección significativos en tiempo para diferentes épocas del año, de no contar con una referencia de las estaciones meteorológicas cercas, para un mejor análisis de los datos.

En el estudio realizado por Tumini (2014) se recomienda que el intervalo de obtención de los datos debe ser mínimo una muestra cada 30 minutos, ya que los intervalos de 5 minutos no aportaron mayor información para la distribución temporal de cada variable, debido a que no sufren cambios significativos en intervalos tiempo muy cortos.

Se recomienda el uso de un análisis estadístico multivariable que permita identificar los cambios significativos de las variables independientes que tienen relación directa con las variables dependientes, es decir que el grado de asociación entre las variables independientes y variables dependientes sea analizado a partir de las interacciones entre las mismas.

Para la selección de los sensores del dispositivo de medición se recomienda utilizar medidores certificados y calibrados para determinar que las mediciones de los sensores propuestos sean correctas.

6.3 Trabajos futuros

Como trabajo futuro se puede desarrollar un sistema de monitorización más completo el cual permita obtener mayor número de variables abióticas, que son las que permiten caracterizar el clima en las zonas de estudio.

Se plantea la posibilidad de utilizar otra placa de desarrollo en hardware libre que como fuente de alimentación use baterías, para que permita ampliar la zona de cobertura del sistema de monitorización y movilidad.

Es posible utilizar sensores que soporten el uso externo (la intemperie) para el monitoreo de variables puesto que dentro de una caja de Stevenson las mediciones sufren pequeños cambios entre un 0.5% a 1.5% y de esta las mediciones logren ser más exactas según Bañón García et al. (2008).

Para ampliar el área de cobertura del sistema de monitorización es posible utilizar redes móviles con acceso a Internet para establecer el canal de comunicación entre los dispositivos de medición y la nube de Internet.

Se plantea la posibilidad de replicar el proyecto de investigación en otros lugares para identificar los microclimáticas de la zona estudio, para determinar los efectos negativos sobre de las personas y contribuir al mejoramiento de su calidad de vida, para evitar la exclusión social y el aislamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acciona. (2017). ¿Qué es una Smart City? Top 5 ciudades inteligentes | Sostenibilidad para todos. Recuperado 25 de junio de 2017, a partir de <http://www.sostenibilidad.com/construccion-y-urbanismo/que-es-una-smart-city-top-5-ciudades-inteligentes/>

Adafruit. (2015). DHT11 basic temperature-humidity sensor + extras ID: 386 - \$5.00 : Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits. Recuperado 22 de julio de 2017, a partir de <https://www.adafruit.com/product/386>

Aguilar Riera, E. G., & Dávila Garzón, D. A. (2013). *Análisis, Diseño e Implementación de la Aplicación Web para el manejo del Distributivo de la Facultad de Ingeniería - tesis.pdf*. Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador. Recuperado a partir de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4303/1/tesis.pdf>

Bañón García, M., Brunet, M., Sigró, J., Aguilar, E., Garcial, F., Palenzuela, J. E., & Asín, J. (2008). Comparación de las temperaturas obtenidas en las garitas Montsouri y Stevenson. Resultados provisionales del Proyecto Screen. Recuperado a partir de <http://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/2660>

- Cama Pinto, A., De la Hoz Franco, E., & Cama Pinto, D. (2012). Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas. *INGE CUC*, 8(1), 163-172.
- Camargo Ponce de León, G. (2008). *Ciudad Ecosistema: Introducción a la ecología urbana*. Universidad Piloto de Colombia. (2a. ed.). Universidad Piloto de Colombia y Alcaldía Mayor de Bogotá. Recuperado a partir de http://www.guayacanal.org/wp-content/pdfs/ECOL_URBANA_V10.pdf
- Caragliu, A., Bo, C. D., & Nijkamp, P. (2011). Smart Cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65-82.
<https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>
- Chen, L., & Ng, E. (2012). Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. *Cities*, 29(2), 118-125.
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.08.006>
- CISCO. (2017). What Is a Wireless Network?: The Basics. Recuperado 14 de mayo de 2017, a partir de <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/small-business/resource-center/work-anywhere/wireless-network.html>
- Corchado, J. M., Bajo, J., Tapia, D. I., & Abraham, A. (2010). Using Heterogeneous Wireless Sensor Networks in a Telemonitoring System for Healthcare. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(2), 234-240.
<https://doi.org/10.1109/TITB.2009.2034369>
- Del Valle Hernández, L. (2016, septiembre 20). ESP8266 todo lo que necesitas saber del módulo WiFi para Arduino. Recuperado 14 de junio de 2017, a partir de <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>
- Díaz Gilete, S. (2012, junio 15). *Análisis CFD de diferentes diseños para una estación meteorológica de pequeñas dimensiones*. Universidad Politécnica de

- Cataluña, Barcelona - España. Recuperado a partir de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15390/memoria.pdf>
- Dimoudi, A., Kantzioura, A., Zoras, S., Pallas, C., & Kosmopoulos, P. (2013a). Investigation of urban microclimate parameters in an urban center. *Energy and Buildings*, 64, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.04.014>
- Dimoudi, A., Kantzioura, A., Zoras, S., Pallas, C., & Kosmopoulos, P. (2013b). Investigation of urban microclimate parameters in an urban center. *Energy and Buildings*, 64, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.04.014>
- Educativo, P. (2017). Elementos y factores del clima. Recuperado 14 de junio de 2017, a partir de <https://www.portaleducativo.net/sexta-basico/755/elementos-y-factores-del-clima>
- EMYR. (2017). Termómetro, reloj y medidor de humedad Certificado. Recuperado 22 de julio de 2017, a partir de <http://www.emyr.com.mx/productos/termometro-reloj-y-medidor-de-humedad/>
- Enel S.A. (2014). Smart Cities. Recuperado 14 de mayo de 2017, a partir de http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/smart-city/
- Environmental Systems Research Institute, Inc. (2016). How inverse distance weighted interpolation works—Help | ArcGIS Desktop. Recuperado 18 de junio de 2017, a partir de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>
- ESP8266 Community Forum. (2015, noviembre 28). Ultra Low Power Sensor Board - Everything ESP8266. Recuperado 3 de mayo de 2017, a partir de <http://www.esp8266.com/viewtopic.php?f=11&t=6854>

- Esri. (2017a). ArcGIS. Recuperado 19 de junio de 2017, a partir de <http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis>
- Esri. (2017b). ArcGIS. Recuperado 4 de mayo de 2017, a partir de <http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis>
- Evans, M., Noble, J., & Hochenbaum, J. (2013). *Arduino in Action*. Shelter Island, New York: Manning Publications. Recuperado a partir de <http://www.maerivoet.org/website/software/arduino/manuals/arduino/arduino-in-action.pdf>
- Firdaus, Ahriman, Akbar, R., & Nugroho, E. (2014). Wireless Sensor Networks for microclimate telemonitoring using ZigBee and WiFi. En *2014 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology* (pp. 200-204). <https://doi.org/10.1109/ICARES.2014.7024404>
- Firdaus, Nugroho, E., & Sahroni, A. (2014). ZigBee and wifi network interface on Wireless Sensor Networks. En *2014 Makassar International Conference on Electrical Engineering and Informatics (MICEEI)* (pp. 54-58). <https://doi.org/10.1109/MICEEI.2014.7067310>
- Fundación CANNA. (2017). Influencia de la temperatura ambiental en las plantas | CANNA España. Recuperado 3 de mayo de 2017, a partir de http://www.canna.es/influencia_temperatura_ambiental_en_las_plantas
- Fundación EROSKI. (2002, mayo 28). El clima y los microclimas en el jardín. Recuperado 3 de mayo de 2017, a partir de <http://www.consumer.es/web/es/bricolaje/jardin/2002/05/28/46626.php>
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press.

- Guerrero, P. (2012, mayo 9). Microclima | La guía de Geografía. Recuperado 14 de mayo de 2017, a partir de <http://geografia.laguia2000.com/general/microclima>
- Hernández Rangel, L. E., Pineda, W., & Bayona Ruiz, D. A. (2009). Sistema de monitoreo y control via inalambrica de humedad y temperatura para invernaderos. Presentado en Los microcontroladores y sus aplicaciones Primer Congreso Virtual 2009, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Recuperado a partir de http://www.edutecne.utn.edu.ar/microcontrol_congr/comunicaciones/Sistema_control_humedad.pdf
- Hwang, R.-L., Lin, T. P., & Matzarakis, A. (2009). OUTDOOR THERMAL COMFORT IN UNIVERSITY CAMPUS IN HOT-HUMID REGIONS (PDF Download Available). En *ResearchGate*. Yokohama - Japan. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/262562672_OUTDOOR_THERMAL_COMFORT_IN_UNIVERSITY_CAMPUS_IN_HOT-HUMID_REGIONS
- IDEAM, & FOPAE. (s. f.). *Estudio de la Caracterizacion Climatica de Bogota y Cuenca Alta del Rio Tunjuelo*. Bogota D.C. Recuperado a partir de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020702/CARACTERIZACIONCLIMATICACORRECCIONFOPAECpublicacionMA.pdf>
- Jha, M., Marpu, P. R., Chau, C. K., & Armstrong, P. (2015). Design of sensor network for urban micro-climate monitoring. En *2015 IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2)* (pp. 1-4). <https://doi.org/10.1109/ISC2.2015.7366153>

- Llamas, L. (2016, octubre 27). Medir cantidad de luxes con Arduino y el luxómetro BH1750. Recuperado 14 de junio de 2017, a partir de <https://www.luisllamas.es/medir-cantidad-de-luxes-con-arduino-y-el-luxometro-bh1750/>
- López Riquelme, J. A. (2011). Contribución a las redes de sensores inalámbricas. Estudio e implementación de soluciones hardware para agricultura de precisión. Recuperado a partir de <http://repositorio.upct.es/handle/10317/2244>
- Łukasz Jokiel. (2015, octubre 15). Domoticz and ESP8266. Recuperado 14 de junio de 2017, a partir de <https://blog.jokielowie.com/en/2015/10/domoticz-cz-2-termometr-wifi-z-precyzja-do-dwoch-miejsc-po-przecinku-czyli-esp8266-dla-poczatkujach-w-praktyce/>
- Mainwaring, A., Culler, D., Polastre, J., Szewczyk, R., & Anderson, J. (2002). Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring. En *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications* (pp. 88–97). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/570738.570751>
- Meléndez Cruz, F., & Cano, E. M. (2015). Sistema de portátil de monitoreo de temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y altitud utilizando un protocolo inalámbrico Wi-Fi. Recuperado a partir de http://www.academia.edu/11326881/Sistema_de_port%C3%A1til_de_monitoreo_de_temperatura_humedad_relativa_presi%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica_y_altitud_utilizando_un_protocolo_inal%C3%A1mbrico_Wi-Fi
- Met, D. (2009, abril 7). Relación entre la temperatura, la humedad y la presión. Recuperado 14 de junio de 2017, a partir de <http://meteorologiafacil.com.ar/foros/index.php?topic=36.0>

MrVinicio1978. (2015, junio 28). La interpolación espacial. Recuperado 28 de junio de 2017, a partir de <http://vinnysig2014.blogspot.com/2015/06/la-interpolacion-espacial.html>

Naylamp Mechatronics. (2017). Módulo Sensor de Luz digital BH1750. Recuperado 3 de mayo de 2017, a partir de <http://www.naylampmechatronics.com/sensores-luz-y-sonido/76-modulo-sensor-de-luz-digital-bh1750.html>

Nikolopoulou, M. (2002). Microclimate and comfort conditions in urban spaces: an intricate relationship. Presentado en Centre for Renewable Energy Sources, Pikermi - Grecia. Recuperado a partir de ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/PLEA_2002/4_COMFORT_QUALITY/NIKOLOPOULOU.PDF

Nikolopoulou, M., Baker, N., & Steemers, K. (2001). Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy*, 70(3), 227-235. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00093-1](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00093-1)

Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2007a). Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area. *Building and Environment*, 42(10), 3691-3707. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.09.008>

Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2007b). Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area. *Building and Environment*, 42(10), 3691-3707. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.09.008>

Núñez, A. (2016). Cobertura ESPE. Recuperado 22 de julio de 2017, a partir de <http://alonsoalejandro.webcindario.com/>

Núñez Sánchez, J. (2016, Enero). Los microclimas de Quito (1). *El Telégrafo*. Recuperado a partir de

<http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/columnistas/1/los-microclimas-de-quito-1>

Pareja Millán, A. E. (2008). *PATRONES HIGROTÉRMICOS DEL MICROCLIMA DEL BOSQUE, EN UN GRADIENTE ALTITUDINAL DEL CERRO HORNUNI, PARQUE NACIONAL Y ÁREA NATURAL DE MANEJO INTEGRADO COTAPATA REGIÓN DE YUNGAS DE LA PAZ*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz - Bolivia. Recuperado a partir de https://www.uam.es/proyectosinv/cotapata/apareja/pareja_2007_tesismicroclimabosque.pdf

Redes inalámbricas. (2004, julio 5). Recuperado 25 de junio de 2017, a partir de <http://www.maestrosdelweb.com/redeswlan/>

santiagocriollo10119. (2012, abril). *Redes wlan 2 parte*. Recuperado a partir de <https://es.slideshare.net/santiagocriollo10119/redes-wlan-2-parte>

Schaffers, H., Komninos, N., Pallot, M., Trousse, B., Nilsson, M., & Oliveira, A. (2011). Smart Cities and the Future Internet: Towards Cooperation Frameworks for Open Innovation. En *The Future Internet* (pp. 431-446). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20898-0_31

Schugurensky, C., & Capraro, F. (2008). Control automático de riego agrícola con sensores capacitivos de humedad de suelo. Aplicaciones en vid y olivo. En *ResearchGate*. Santiago: Instituto de Automática (INAUT). Universidad Nacional de San Juan. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/228374116_Control_automatiko_de_riego_agricola_con_sensores_capacitivos_de_humedad_de_suelo_Aplicaciones_en_vid_y_olivo

- Sistema Información Geográfica y Agropecuaria [SIGAGRO]. (2004). El clima en el Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado 3 de mayo de 2017, a partir de http://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/cambio_climatico/Documents/DC2AC1_atlas_ambiental_dmq_clima.pdf
- Steffens, A. M. C. de, Ferreras, A. M. C. de, & Piccolo, M. C. (2005). *El clima urbano de Bahía Blanca*. Editorial Dunken.
- Sugano, M., Kawazoe, T., Ohta, Y., & Murata, M. (2006). Indoor Localization System using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network based on ZigBee Standard. Presentado en Wireless Sensor Networks, ACTA Press. Recuperado a partir de <http://www.actapress.com/PaperInfo.aspx?PaperID=27457&reason=500>
- Suming, G., Qisu, L., Ziyang, Y., & Hanjie, C. (2017). Study on the Relationship between Campus Outdoor Space Elements and Microclimate Comfort Level. En *2017 9th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)* (pp. 463-467). <https://doi.org/10.1109/ICMTMA.2017.0118>
- Tumini, I. (2014). Estrategias para reduccion del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso Madrid. Presentado en SB10mad sustainable building conference, Madrid: GBC - España. Recuperado a partir de https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28_11-40-05111072.pdf
- Vargas, H. E. (2010). Monitoreo de humedad y temperatura en colecciones biológicas con herramientas de software libre. Costa Rica: Instituto Nacional de

- Biodiversidad (INBio). Recuperado a partir de https://www.icinga.com/wp-content/uploads/2011/04/InBio-Paper_Spanish.pdf
- Vega, F. (2017, abril 25). SENSOR TEMP Y PRESION DTH11. Recuperado 3 de mayo de 2017, a partir de <http://www.vallecompras.com/store/index.php/tienda/circuitos-integrados/sensores/dth11-detail>
- Ventura, V. (2016, abril 21). BH1750. Sensor de luz ambiente I2C. Recuperado 13 de julio de 2017, a partir de <https://polaridad.es/bh1750-luz-sensor-iluminacion-ambiental-i2c-medida-luminosidad-medicion/>
- World Meteorological Organization (WMO). (2012). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation WMO-No. 8* (2008.^a ed.). Switzerland: Chairperson, Publications Board. Recuperado a partir de <https://es.scribd.com/document/260792853/WMO-No-8-2008-Updated-2010>
- Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12), 2292-2330. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2008.04.002>
- Zacharias, J., Stathopoulos, T., & Wu, H. (2001). Microclimate and Downtown Open Space Activity. *Environment and Behavior*, 33(2), 296-315. <https://doi.org/10.1177/0013916501332008>
- Zhang, X., Zhang, Y., Zang, Q., Yu, M., & Tong, Z. (2016). Comparative cognition of microclimate of different types of open spaces. En *2016 24th International Conference on Geoinformatics* (pp. 1-7). <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2016.7578970>

ANEXOS

Anexo 1



Anexo 2

Medias, máximos y mínimos diarios de temperatura (°C) del 4 de Abril al 2 de Mayo del 2017.

DÍAS	TEMPERATURA																				
	Z1			Z3			Z4			Z5			Z6			Z7			Z8		
	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m
1	19.2	32	13	19.6	30.3	10	16.2	23.2	10.8	21.2	26.2	15.2	18.2	28.6	11.2	22.5	24.3	20	21.4	31.2	12
2	18.9	31.4	13.4	15.7	32	10.6	14.7	22.3	11	20.4	27	16	19.1	29.3	11	23.2	25.2	21.5	20.7	31.8	14.2
3	17.8	31	14.8	14.9	28.8	12	14.2	20.2	11.8	19.1	22	17	16.5	25.8	12.8	23.2	24.4	22	20.1	30.2	14.6
4	17.3	27.5	14.6	14.5	21.2	12	13.8	19.4	12	17.9	21.5	15.8	15.4	21.5	11.8	21.1	22	20	16.7	21.8	13.8
5	17.9	31.8	13	13.5	21.6	9.6	13.4	20	10	18.5	26	14.4	18.6	30.8	11	21.1	23	19	16.9	31.6	12
6	18.8	30.4	14	15.4	28.8	11	14.5	21.6	11	21.9	25	20.4	18	32	12	21.4	23.3	19.3	17.9	30	13.8
7	18.3	30.8	14.3	15.5	31.7	12	14.4	21.3	12	20.4	26	16.3	17.9	29.6	12.8	21.9	23.6	20.5	18.7	31.5	13.8
8	18.9	31.6	13.6	17.3	31.1	10	15.6	23.2	10	20.5	25.6	14.5	18.4	31	11.2	21.5	23	20	20.7	31.6	12.7
9	18.3	27.1	14.8	15	31	11.4	14.9	22.8	12	19.7	26	16.7	18.8	29	12.2	22.9	24.4	21.6	20.6	30.7	14
10	17.1	23.8	13.4	14.6	26.2	11	13.8	20.7	11	17.8	22.6	15.7	14.5	22.8	11.2	21.4	22.8	20.5	17.9	28	13.3
11	17.2	25.2	13.5	14.5	31.5	10	13.8	19.8	11	18.4	23.5	14.5	15.9	27.6	11.7	20.8	22.4	19	21.1	30	12.7
12	19.1	32	13.8	16.5	30.3	11	14.3	20.8	10.6	20.4	25.8	15.8	17.9	32.1	11.8	21	23	19	22.9	30	12.4
13	18.8	30	12.6	18.4	31.6	10	14.9	21.3	10	21	26.8	16	17.5	30.2	10.6	21.2	23	19.2	24.1	30	12.2

DÍAS	TEMPERATURA																				
	Z1			Z3			Z4			Z5			Z6			Z7			Z8		
	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m	\bar{x}	M	m
14	18.3	30.2	12.2	17.5	31.6	9	13.9	23	9	20.5	28	14.4	18.8	31.4	9	22.3	24.5	19.7	25.6	30	11
15	18.2	31.8	12.4	13.9	26	9	13.8	23.4	9.6	19.1	25	14.4	19.4	31.1	11	22.9	24.3	20.8	21.5	31	15
16	17.9	31.4	13.6	15.1	30	11	14.4	22.4	11	19.5	25.2	15.5	18.2	29.8	11.4	23.2	24.8	21.5	17.7	31	14
17	18.5	31.6	14	14.4	30.3	11	13.9	21	11	19.3	25.5	14.8	17.7	31.2	12	23.3	24.2	21.2	20.2	31	14
18	19.5	31	13.8	18	30	10	14.9	22.3	10.6	20.2	25.7	15.3	19.7	31.4	11.7	23.2	25.4	21.2	24.1	30	12.8
19	19.6	32	13	16.9	28.8	10.2	15.6	21.8	10.2	21	26.3	15.3	18.2	28.6	11.8	23.5	25.2	22	26.1	30	15
20	18.7	28.2	14	16.4	28.5	10	15.5	22.3	11	21.1	26	16	18.4	28.7	12.3	23.4	24.5	21.8	19.3	31.8	12.7
21	18.4	29.4	15	15.6	31	11.8	14.7	21	12	20.6	25.3	17	17.7	27.4	13	23.6	24.8	22.3	18.7	31.2	13.6
22	18.1	27.8	15	15.9	26.8	11.8	14.6	20.8	12	19.9	25	16.4	16.9	26.5	12.8	23.2	24.8	21	18.7	30.2	14
23	18.2	25.2	14	17.3	31.2	12	15.4	21.6	11.2	20.8	26	17	17.3	26.3	13	23.3	24.7	21.8	19.4	31	13
24	18.1	24.3	14	17.2	30.8	11	15.3	22.9	11	20.7	26	16	19.7	31.8	13	23.6	25.8	21.3	19.3	31.3	13
25	17.4	25.6	13.3	16.7	30.6	11	14.6	21.2	11	20.9	27	16	17.8	26.5	11.2	23.7	25	21.8	20.1	30	12.7
26	17.1	31.6	12.4	13.8	23	9	13.8	22.4	9.7	19.2	25.8	14.6	16.5	32	11.3	22.8	24.2	21.2	16.3	24.7	12
27	17.2	22.8	14.4	15.6	27.2	11	14.8	20.2	12	19.4	23.8	16	15.8	21.2	12.2	21.9	23.4	20.2	17.9	31.6	13
28	17.3	22.2	14	17.3	30.6	11	15	21	12	19.8	25.3	16.8	15.9	24	12	21.6	23.2	19.8	20.9	31.5	13

Anexo 3

Promedios diarios de humedad (%) del 4 de Abril al 2 de Mayo del 2017.

DÍA	HUMEDAD						
	Z1	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
1	61	36	55	42	43	69	54
2	69	30	67	47	45	67	74
3	74	40	77	53	58	72	83
4	78	62	81	58	61	75	72
5	76	63	75	53	54	72	66
6	87	55	72	47	54	74	64
7	77	56	74	51	57	74	66
8	74	43	67	49	49	74	59
9	78	27	71	50	48	72	69
10	80	35	75	52	62	73	81
11	82	46	80	53	59	75	69
12	77	43	78	48	51	74	62
13	71	27	66	43	49	71	50
14	70	27	67	41	45	68	55
15	75	38	74	48	48	68	54
16	78	53	78	49	51	70	44
17	79	79	81	52	54	70	62
18	75	68	75	46	50	69	55
19	72	70	67	44	47	67	45
20	72	58	66	44	46	65	19
21	81	69	78	49	53	70	21
22	83	62	80	51	54	71	21
23	76	38	68	47	52	70	18
24	76	28	68	46	49	70	18
25	79	36	74	47	53	69	20
26	78	47	74	48	54	68	21
27	85	59	74	50	57	70	20
28	85	47	74	50	58	73	20

Anexo 4

Distribución temporal de luminosidad (lux) 4 Abril al 2 Mayo del 2017.

DÍA	LUMINOSIDAD						
	Z1	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
1	2892	13203	6397	1839	4507	5051	8283
2	3661	6015	4800	1386	8516	9729	3904
3	3135	5980	5001	1572	4013	6424	3349
4	3227	6896	5488	1702	3968	6104	2851
5	3375	4259	3986	1151	9408	8902	2802
6	3516	6542	5575	2631	7286	7071	3437
7	3428	6707	4321	2288	6687	7997	4717
8	3409	9534	6404	1812	7722	6982	6576
9	3194	5712	4810	1679	3475	8141	4681
10	2344	6775	5818	1663	3149	4679	3320
11	2143	7925	5258	1803	5711	7269	9067
12	3392	9325	3698	1293	6616	6847	8655
13	2996	11201	3719	1577	5999	6543	9692
14	2984	10288	2919	1221	8148	8392	9920
15	3278	4769	3759	1152	6604	6596	1666
16	3129	5429	4834	1566	6937	8117	4087
17	3924	5709	4287	1535	6659	7968	3076
18	3893	11869	4210	1524	6453	7549	7525
19	3441	9677	5462	1856	4389	7396	6454
20	2890	7711	5552	1824	6178	9193	4928
21	3183	8221	5795	1763	4796	5231	5763
22	2524	8809	6126	1664	3479	6378	4163
23	2751	9032	5663	1905	4286	9217	5660
24	2474	8943	5250	1424	5824	9349	4751
25	2331	8076	4637	1659	4705	10112	6098
26	3242	4621	4250	1358	6277	10644	2389
27	2294	9023	6051	1974	4324	7034	5708
28	2481	9849	5423	1966	3835	7165	7232