



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

## Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

### Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

**Diseño e implementación de una solución basada en el internet de las cosas (IoT) para el cultivo de maíz para la “Asociación Agropecuaria Guacacochoa”**

**Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del Título de Ingeniero en  
Electrónica y Telecomunicaciones**

**AUTOR:**

Leoncio Fabricio Eras Diaz

**DIRECTOR:**

Ing. Franklin Gustavo Jiménez Peralta, Mg Sc.

Loja – Ecuador

2023

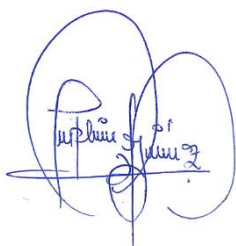
## Certificación

Loja, 7 de septiembre de 2022

Ing. Franklin Gustavo Jiménez Peralta, Mg Sc.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo Titulación denominado: **Diseño e implementación de una solución basada en el internet de las cosas (IoT) para el cultivo de maíz para la “Asociación Agropecuaria Guacacocha”**, previo a la obtención del título de **Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones**, de la autoría del estudiante **Leoncio Fabricio Eras Diaz**, con **cédula de identidad Nro. 1104665086**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa..



Ing. Franklin Gustavo Jiménez Peralta, Mg Sc.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Leoncio Fabricio Eras Diaz**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula:** 1104665086

**Fecha:** 11/04/2023

**Correo Electrónico:** [leoncio.eras@unl.edu.ec](mailto:leoncio.eras@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0980639711

**Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

**Leoncio Fabricio Eras Diaz**, declaro ser autor del Trabajo Titulación denominado: **Diseño implementación de una solución basada en el internet de las cosas (IoT) para el cultivo de maíz para la “Asociación Agropecuaria Guacacocha”**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad desu contenido en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los once días del mes de abril del dos mil veintitrés.



**Firma:**

**Autor:** Leoncio Fabricio Eras Diaz

**Cédula:** 1104665086

**Dirección:** Loja, (Obrapia)

**Correo Electrónico:** [leoncio.eras@unl.edu.ec](mailto:leoncio.eras@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0980639711

**Director de Trabajo Titulación:** Ing. Franklin Gustavo Jiménez Peralta, Mg Sc.

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado a Dios por brindarme la sabiduría y la salud para culminar mi carrera universitaria a mi padre Gumerindo Eras y a mi madre Fátima Díaz a mis hermanos y hermanas por ser quienes en mi han confiado y apoyado durante cada día de mi carrera universitaria y a la misma vida y familiares por su favor y tiempo para conmigo.

A mis compañeros y amigos de la universidad con quienes he recorrido este largo trayecto, les agradezco por todas las noches de insomnio, trabajos y proyectos, por hacer que ir a la universidad sea gratificante y encontrar en su compañía carcajadas, bromas y aceptación.

A Yasmín Sucunuta por brindarme su apoyo incondicional en cada decisión que he tomado, por su paciencia y entrega para conmigo por sus palabras de aliento que cada día me ayudaban para seguir luchando y poder finalizar este Trabajo de Titulación.

***Leoncio Fabricio Eras Diaz***

## **Agradecimiento**

A mi familia por toda la paciencia, el cariño y ser mi sustento para seguir avanzando, cada día, sin olvidar la humildad y la modestia de dónde vengo.

A todos los socios de la asociación agropecuaria Guacacocha los cuales me brindaron el apoyo para poder desarrollar y culminar mi proyecto de grado.

A mi compañero Ing. Miguel Rodríguez que con sus recomendaciones me supo guiar en mi investigación.

A los docentes de la universidad, quienes han sabido guiarme e impartir sus conocimientos, por la tolerancia y lucidez de comprender que las notas no definen cuanto sabes; y de quienes no esgrimen la disposición de ser un maestro les agradezco por hacerme apreciar, lo que no quiero llegar a ser nunca como profesional.

Mi agradecimiento de manera especial al ing. Franklin Jiménez que con su experiencia y paciencia supo orientarme a lo largo de todo este Trabajo de Titulación y supo comprender los inconvenientes que resultaron durante el mismo.

*Leoncio Fabricio Eras Diaz*

## Tabla de contenidos

<b>Portada.....</b>	<b>i</b>
<b>Certificación.....</b>	<b>ii</b>
<b>Autoría.....</b>	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización.....</b>	<b>iv</b>
<b>Tabla de contenidos.....</b>	<b>vii</b>
Índice de figuras: .....	xii
Índice de tablas: .....	xv
Índice de Anexos: .....	xvi
<b>Acrónimos: .....</b>	<b>xvii</b>
<b>1. Título .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Resumen .....</b>	<b>2</b>
2.1. Abstract .....	3
<b>3. Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>4. Marco teórico.....</b>	<b>6</b>
4.1. Asociación Agropecuaria Guacacochoa .....	6
4.2. Generalidades de la Plantación de Maíz .....	7
1.1.1. Características de la Planta de Maíz .....	8
1.1.2. Ciclo Vegetativo .....	9
4.3. Variables Climáticas que Afectan la Producción de Maíz.....	10
1.2.1. Suelo .....	12
1.2.2. Preparación del Suelo .....	12
1.2.3. Siembra.....	13
1.2.5. Enfermedades del Maíz .....	14
4.4. Agricultura de Precisión .....	17

1.2.6.	Importancia de la Agricultura de Precisión .....	17
1.2.7.	La Agricultura de Precisión en el Mundo.....	18
4.5.	Energía Fotovoltaica .....	18
1.2.8.	Análisis de la Instalación Fotovoltaica.....	19
4.6.	Internet de las Cosas .....	20
1.2.9.	Aplicaciones Relacionadas con el Uso de Tecnologías IoT.....	20
1.2.10.	Red de Sensores Aplicada a la Agricultura. ....	21
4.7.	Tecnología GSM.....	23
1.3.1.	Ventajas de la tecnología GSM .....	23
1.3.2.	Desventajas de la tecnología GSM.....	23
1.5.1.	La Estándar IEEE 802.11 .....	25
1.5.2.	Modos AP inalámbricos .....	26
1.5.3.	Modos Station inalámbricos .....	26
<b>5.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>27</b>
5.1.	Planificación .....	28
1.5.4.	Recopilación y Análisis de Información .....	28
5.2.	Selección de Equipos .....	29
5.2.1.	Arduino Mega.....	30
5.2.2.	Arduino Uno .....	30
5.2.3.	Módulo Nrf24l01 Amplificador y Antena.....	31
5.2.4.	Modulo ethernet Arduino Enc 28j60 .....	32
5.2.5.	MG811-CO2 Sensor de Dióxido de Carbono.....	33
5.2.6.	GUVA-S12SD Sensor de Luz Ultravioleta .....	34
5.2.7.	Taidacent RS485 Sensor de Nitrógeno del Suelo.....	35
5.2.8.	Sensor de pH del Suelo.....	35



5.2.9.	Huawei B612s – 51d.....	36
5.3.	Diseño .....	37
5.3.1.	Descripción del Sistema de Monitoreo.....	37
5.3.2.	Descripción de los Nodos de monitoreo.....	38
5.3.3.	Diagramas de Flujo y Conexión del Sistema a Implementar .....	40
5.3.3.1.	Gateway Principal.....	40
5.3.3.2.	Nodo 1 .....	43
5.3.3.3.	Nodo 2 .....	45
5.3.3.4.	Diseño del Sistema de Comunicación .....	47
5.3.3.5.	Características del módulo Nrf24l01 .....	47
5.3.3.6.	Consumo de Energía del Módulo NRF24L01 .....	47
5.3.3.7.	Las Características del Enlace son las Siguietes .....	48
5.3.3.8.	Programación de enlace RF entre el Gateway y los nodos.....	49
5.3.3.9.	Código Programa: “Transmisor NRF24L01+” .....	52
5.3.3.10.	Código Programa: “Receptor Nrf24l01 .....	55
5.3.3.11.	Sincronización de Gateway con la plataforma Thingspeak.....	58
5.3.3.12.	Creación del Canal para Actualización de Datos en la Plataforma ThingSpeak	59
5.3.3.13.	Código programa: “GATEWAY ENC28J60” .....	64
5.3.4.	Creación de la Página Web.....	67
5.3.5.	Sistema de alimentación de los nodos .....	70
5.3.6.	Evaluación de la energía consumida por día .....	70
5.3.7.	Selección del Horario Solar Pico.....	72
5.3.8.	Dimensionamiento del panel fotovoltaico .....	73
5.3.9.	Cálculo de la Capacidad de las Baterías (CB).....	73

5.4.	Implementación.....	74
5.4.1.	Ubicación del Proyecto.....	74
5.4.2.	Ubicación de los Nodos .....	75
5.4.3.	Implementación del Sistema Fotovoltaico .....	77
5.4.4.	Construcción de los nodos a implementar .....	80
5.4.5.	Posición de los Sensores de Nitrógeno y pH.....	84
5.5.	Evaluación.....	87
5.5.1.	Verificación de Sistema Fotovoltaico.....	87
5.5.2.	Verificación de la Red Móvil .....	88
5.5.3.	Verificación del Radio Enlace.....	89
5.5.4.	Proceso de Calibración del Sensor MG811 C02 .....	90
5.5.5.	Calibración del Sensor de Radiación Ultravioleta.....	97
5.5.6.	Verificación del Sensor de Nitrógeno .....	99
5.5.7.	Calibración del sensor de pH.....	108
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>114</b>
6.1.	Pruebas de funcionamiento .....	114
6.2.	Etapa de adquisición de datos .....	114
6.3.	Representación de los datos adquiridos en la plataforma usada .....	115
6.4.	Análisis de los Datos.....	117
6.4.1.	Niveles de Radiación Solar.....	117
6.4.1.1.	Análisis de Radiación Solar Durante el Primer Día .....	122
6.4.1.2.	Análisis de Radiación Solar Durante el Segundo Día .....	123
6.4.1.3.	Análisis de Radiación Solar Durante el Tercer Día.....	123
6.4.1.4.	Análisis Radiación Solar Durante el Cuarto Día .....	124
6.4.1.5.	Análisis Radiación Solar Durante el Quinto Día.....	125

6.4.2.	Niveles de Dióxido de Carbono.....	126
6.4.2.1.	Análisis de CO2 Durante el Primer Día .....	131
6.4.2.2.	Análisis de CO2 Durante los Cuatro Días .....	132
6.4.3.	Niveles de pH .....	135
6.4.3.1.	Análisis del pH Durante el Primer Día.....	140
6.4.3.2.	Análisis del pH Durante el Segundo Día.....	141
6.4.3.3.	Análisis del pH Durante el Tercer Día.....	142
6.4.3.4.	Análisis del pH Durante el Cuarto Día.....	143
6.4.3.5.	Análisis del pH Durante el Quinto Día.....	144
6.4.4.	Niveles de Nitrógeno .....	145
6.4.4.1.	Análisis del Nitrógeno del Suelo Durante el Primer Día.....	151
6.4.4.2.	Análisis del Nitrógeno del Suelo Durante el Segundo Día.....	152
6.4.4.3.	Análisis del Nitrógeno del Suelo Durante el Tercer Día.....	152
6.4.4.4.	Análisis del Nitrógeno del Suelo Durante el Cuarto Día.....	153
6.4.4.5.	Análisis del Nitrógeno del Suelo Durante el Quinto Día.....	154
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>156</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>159</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>160</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>161</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>164</b>

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Miembros de la asociación agropecuaria Guacacocha. ....	6
<b>Figura 2.</b> Estructura de una planta de maíz. ....	8
<b>Figura 3.</b> Flores de la planta de maíz. ....	9
<b>Figura 4.</b> Ciclo vegetativo de la planta de maíz. ....	10
<b>Figura 5.</b> Preparación de los terrenos de la asociación. ....	13
<b>Figura 6.</b> Mancha de café del maíz. ....	15
<b>Figura 7.</b> Royal tropical en la planta de maíz.....	16
<b>Figura 8.</b> Mancha de asfalto de maíz. ....	17
<b>Figura 9.</b> Diagrama de Modelo en Espiral. ....	27
<b>Figura 10.</b> Diagrama de flujo de desarrollo de materiales y métodos.....	28
<b>Figura 11.</b> Esquema del sistema de monitoreo.....	38
<b>Figura 12.</b> Esquema del nodo uno. ....	39
<b>Figura 13.</b> Esquema del Nodo dos. ....	40
<b>Figura 14.</b> Diagrama de Flujo del nodo Gateway. ....	42
<b>Figura 15.</b> Esquema de conexión del nodo Gateway. ....	43
<b>Figura 16.</b> Diagrama de flujo del Nodo 1. ....	44
<b>Figura 17.</b> Esquema de conexión del nodo 1. ....	45
<b>Figura 18.</b> Diagrama de flujo del Nodo 2. ....	46
<b>Figura 19.</b> Esquema de conexión del Nodo 2. ....	47
<b>Figura 20.</b> Código para la comunicación entre nodos y Gateway. ....	50
<b>Figura 21.</b> Resultados del programa “verificar conexión”. ....	51
<b>Figura 22.</b> Módulo NRF24L01+ sin comunicación con Arduino. ....	51
<b>Figura 23.</b> Resultados de transmisión de datos entre los nodos y Gateway.....	57
<b>Figura 24.</b> Registro e integración de cuenta Mathworks con la Plataforma Thingspeak.....	59
<b>Figura 25.</b> Creación del canal.....	60
<b>Figura 26.</b> Edición de datos del canal. ....	60
<b>Figura 27.</b> Grabado de parámetros de configuración del canal. ....	61
<b>Figura 28.</b> Habilitación de compartimiento del canal. ....	62

<b>Figura 29.</b> Edición de figuras de monitoreo de los sensores en la plataforma. ....	<b>63</b>
<b>Figura 30.</b> Claves API para escritura y lectura del canal. ....	<b>64</b>
<b>Figura 31.</b> Comprobación de envío de datos desde Gateway hacia Thingspeak. ....	<b>66</b>
<b>Figura 32.</b> Actualización de datos en la plataforma. ....	<b>67</b>
<b>Figura 33.</b> Pantalla de Bienvenida a Google Sites. ....	<b>68</b>
<b>Figura 34.</b> Portada del Sitio Web. ....	<b>69</b>
<b>Figura 35.</b> Plantillas a utilizarse. ....	<b>70</b>
<b>Figura 36.</b> Predios donde se desarrollará el proyecto. ....	<b>75</b>
<b>Figura 37.</b> Puntos georreferenciados con el GPS Garmin. ....	<b>76</b>
<b>Figura 38.</b> Visualización en Google Earth de los nodos. ....	<b>77</b>
<b>Figura 39.</b> Panel solar monocristalino de 50 w. ....	<b>78</b>
<b>Figura 40.</b> Controlador regulador de carga solar 12 V 10 A. ....	<b>79</b>
<b>Figura 41.</b> Batería forza 12 V 9Ah. ....	<b>80</b>
<b>Figura 42.</b> Terminal fastón hembra con retén. ....	<b>81</b>
<b>Figura 43.</b> Terminal de punta para cable 14 AWG. ....	<b>81</b>
<b>Figura 44.</b> Empalme de cable 12 AWG del panel solar hacia el controlador de carga. ....	<b>82</b>
<b>Figura 45.</b> Colocación del inversor solar en la caja metálicas. ....	<b>83</b>
<b>Figura 46.</b> Caja de plástico con los componentes y los sensores de CO <sub>2</sub> y Uv. ....	<b>84</b>
<b>Figura 47.</b> Medición de la profundidad del hueco para los sensores. ....	<b>85</b>
<b>Figura 48.</b> Colocación horizontal de los sensores. ....	<b>86</b>
<b>Figura 49.</b> Verificación con multímetro de la energía solar entregada por el panel, al sistema. ....	<b>87</b>
<b>Figura 50.</b> Datos tomados del Router Huawei implementado en el sistema. ....	<b>88</b>
<b>Figura 51.</b> Validación de la distancia con ayuda del software Google Earth. ....	<b>90</b>
<b>Figura 52.</b> Curva de sensibilidad del sensor de dióxido de carbono. ....	<b>91</b>
<b>Figura 53.</b> Relación entre el voltaje de salida del sensor respecto a valores de CO <sub>2</sub> . ....	<b>92</b>
<b>Figura 54.</b> Relación de voltaje de ADC de Arduino respecto a la resolución de bits. ....	<b>92</b>
<b>Figura 55.</b> Voltaje de salida del sensor respecto a la resolución de bit ADC. ....	<b>93</b>
<b>Figura 56.</b> Valores de CO <sub>2</sub> respecto a la resolución de bits ADC. ....	<b>95</b>
<b>Figura 57.</b> Resultado del sensado utilizando serial plotter de Arduino. ....	<b>96</b>
<b>Figura 58.</b> Resultado de la incorporación del filtro para la reducción del ruido en el sensado. ....	<b>97</b>

<b>Figura 59.</b> Relación gráfica y numérica entre el voltaje entregado por sensor Uv y el índice Uv. .....	<b>98</b>
<b>Figura 60.</b> Tierra sin fertilizar para experimento del sensor. ....	<b>100</b>
<b>Figura 61.</b> Niveles de nitrógeno del primer día, tierra sin fertilizar.....	<b>101</b>
<b>Figura 62.</b> Niveles de nitrógeno del segundo día, tierra sin fertilizar. ....	<b>102</b>
<b>Figura 63.</b> Niveles de nitrógeno del tercer día, tierra sin fertilizar. ....	<b>103</b>
<b>Figura 64.</b> Tierra fertilizada para entorno de prueba.....	<b>104</b>
<b>Figura 65.</b> Niveles de nitrógeno del primer día, tierra fertilizada. ....	<b>105</b>
<b>Figura 66.</b> Niveles de nitrógeno del segundo día, tierra fertilizada. ....	<b>106</b>
<b>Figura 67.</b> Niveles de nitrógeno del tercer día, tierra fertilizada. ....	<b>107</b>
<b>Figura 68.</b> Valor de nitrógeno arrojado la plataforma de Gestión. ....	<b>108</b>
<b>Figura 69.</b> Características del sensor para calibración del sensor. ....	<b>109</b>
<b>Figura 70.</b> Relación del nivel de pH respecto a voltaje de salida del sensor pH. ....	<b>111</b>
<b>Figura 71.</b> Relación de los niveles de pH respecto a la resolución de bits ADC. ....	<b>113</b>
<b>Figura 72.</b> Obtención de datos de los nodos 1 y 2 en el monitor serial de Arduino. ....	<b>115</b>
<b>Figura 73.</b> Visualización de los datos en la plataforma thingspeak. ....	<b>116</b>
<b>Figura 74.</b> Niveles de radiación solar registradas durante el primer día. ....	<b>122</b>
<b>Figura 75.</b> Niveles de radiación solar registradas durante el segundo día. ....	<b>123</b>
<b>Figura 76.</b> Niveles de radiación solar registradas durante el tercer día. ....	<b>124</b>
<b>Figura 77.</b> Niveles de radiación solar registradas durante el cuarto día.....	<b>125</b>
<b>Figura 78.</b> Niveles de radiación solar registradas durante el quinto día. ....	<b>126</b>
<b>Figura 79.</b> Niveles de CO2 registradas durante el primer día. ....	<b>132</b>
<b>Figura 80.</b> Niveles de CO2 registradas durante el tercer día.....	<b>133</b>
<b>Figura 81.</b> Niveles de CO2 registradas durante el segundo día. ....	<b>133</b>
<b>Figura 82.</b> Niveles de CO2 registradas durante el cuarto día.....	<b>134</b>
<b>Figura 83.</b> Niveles de CO2 registradas durante el quinto día. ....	<b>135</b>
<b>Figura 84.</b> Niveles de pH registradas durante un día. ....	<b>141</b>
<b>Figura 85.</b> Niveles de pH registradas durante el segundo día. ....	<b>142</b>
<b>Figura 86.</b> Niveles de pH registradas durante el tercer día. ....	<b>143</b>
<b>Figura 87.</b> Niveles de pH registradas durante el cuarto día. ....	<b>144</b>
<b>Figura 88.</b> Niveles de pH registrados durante el quinto día.....	<b>145</b>

<b>Figura 89.</b> Niveles de nitrógeno registrados durante el primer día. ....	<b>151</b>
<b>Figura 90.</b> Niveles de nitrógeno registrados durante el segundo día. ....	<b>152</b>
<b>Figura 91.</b> Niveles de nitrógeno registrados durante el tercer día. ....	<b>153</b>
<b>Figura 92.</b> Niveles de nitrógeno registrados durante el cuarto día. ....	<b>154</b>
<b>Figura 93.</b> Niveles de nitrógeno registrados durante el quinto día. ....	<b>155</b>

**Índice de tablas:**

<b>Tabla 1.</b> Requerimientos del cultivo de maíz .....	<b>12</b>
<b>Tabla 2.</b> Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica. ....	<b>19</b>
<b>Tabla 3.</b> Aplicaciones de internet de las cosas .....	<b>21</b>
<b>Tabla 4.</b> Características de las tecnologías inalámbricas .....	<b>22</b>
<b>Tabla 5.</b> Planes postpago de claro .....	<b>24</b>
<b>Tabla 6.</b> Combos de la red móvil Tuenti .....	<b>24</b>
<b>Tabla 7.</b> Familia de protocolos de comunicación inalámbricos 802.11 .....	<b>25</b>
<b>Tabla 8.</b> Presupuesto Invertido del proyecto .....	<b>29</b>
<b>Tabla 9.</b> Características de Arduino Mega 2560 .....	<b>30</b>
<b>Tabla 10.</b> Características del Arduino Uno .....	<b>31</b>
<b>Tabla 11.</b> Características del módulo Nrf24l01.....	<b>31</b>
<b>Tabla 12.</b> Características del módulo Ethernet-Arduino Enc28j60.....	<b>32</b>
<b>Tabla 13.</b> Características del sensor de dióxido de carbono.....	<b>33</b>
<b>Tabla 14.</b> Características de sensor de Luz ultravioleta .....	<b>34</b>
<b>Tabla 15.</b> Características de sensor de Nitrógeno de suelo .....	<b>35</b>
<b>Tabla 16.</b> Características del sensor de pH del suelo .....	<b>36</b>
<b>Tabla 17.</b> Características del Router Huawei .....	<b>36</b>
<b>Tabla 18.</b> Componentes del Nodo Principal.....	<b>41</b>
<b>Tabla 19.</b> Componentes del nodo 1 .....	<b>43</b>
<b>Tabla 20.</b> Componentes del nodo 2.....	<b>46</b>
<b>Tabla 21.</b> Relación de consumo de corriente DC con la potencia de salida de módulo de radio frecuencia .....	<b>48</b>
<b>Tabla 22.</b> Características del radio enlace a utilizar .....	<b>49</b>

<b>Tabla 23.</b> Parámetros de enlace .....	<b>52</b>
<b>Tabla 24.</b> Parámetros para canal Thingspeak .....	<b>58</b>
<b>Tabla 25.</b> Consumo energético del nodo Gateway .....	<b>71</b>
<b>Tabla 26.</b> Coordenadas de ubicación de los nodos.....	<b>76</b>
<b>Tabla 27.</b> Características técnicas del sensor de dióxido de carbono esenciales para la calibración del mismo. ....	<b>91</b>
<b>Tabla 28.</b> Características que ofrece las tarjetas y las cuales serán analizadas para la calibración del sensor de pH. ....	<b>108</b>
<b>Tabla 29.</b> Banco de datos de radiación solar, tomadas por el sensor durante cinco días .....	<b>117</b>
<b>Tabla 30.</b> en una sola pagina Datos recolectados de dióxido de carbono, tomadas por el sensor durante cinco días.....	<b>127</b>
<b>Tabla 31.</b> Datos recolectados del pH del suelo, tomadas por el sensor durante cinco días.....	<b>135</b>
<b>Tabla 32.</b> Datos recolectados del nitrógeno del suelo, tomadas por el sensor durante cinco días .....	<b>146</b>

### Índice de Anexos:

<b>Anexo 1.</b> Estructuras metálicas para cada uno de los nodos.....	<b>164</b>
<b>Anexo 2.</b> Datasheet del arduino mega 2560 .....	<b>167</b>
<b>Anexo 3.</b> Datasheet del arduino uno .....	<b>171</b>
<b>Anexo 4.</b> datasheet del módulo de rf 2.4ghz [nrf24l01] .....	<b>175</b>
<b>Anexo 5.</b> Datasheet del módulo ethernet lan enc28j60.....	<b>178</b>
<b>Anexo 6.</b> Datasheet del sensor de co2.....	<b>180</b>
<b>Anexo 7.</b> Datasheet del sensor de guva-s12s .....	<b>182</b>
<b>Anexo 8.</b> Datasheet del sensor de npk .....	<b>184</b>
<b>Anexo 9.</b> Datasheet del router 4g lte huawei b612s-51d cat6 300mbs .....	<b>193</b>
<b>Anexo 10.</b> Medidor de ph para el suelo .....	<b>202</b>
<b>Anexo 11.</b> Certificado traducción abstract.....	<b>204</b>



### **Acrónimos:**

<b>IoT</b>	Internet de las cosas
<b>WPA2</b>	Wi-Fi Acceso protección 2
<b>IEA</b>	Agencia Internacional de la Energía
<b>HPS</b>	Horario Solar Pico
<b>UV</b>	Radiación Ultra Violeta
<b>C02</b>	Dióxido de carbono
<b>GSM</b>	Sistema estándar referente a la telefonía móvil y digital
<b>PPM</b>	Partes por Millón
<b>V</b>	Volteos
<b>Ah</b>	Amperios Hora
<b>GAD</b>	Gobierno autónomo descentralizado
<b>ADC</b>	Convertidor Analógico-Digital

## **1. Título**

**Diseño e implementación de una solución en el internet de las cosas (IoT) para el cultivo de maíz de la “Asociación Agropecuaria Guacacocha”**

## 2. Resumen

Dentro de las diferentes actividades que dan lugar al desarrollo económico y social, de las poblaciones a nivel mundial, la agricultura corresponde a una de las fundamentales, ya que de esta depende la alimentación de millones de personas. En Ecuador en especial en la provincia de Loja cantón Zapotillo y Pindal uno de los cultivos de mayor importancia es el maíz, ya que este ligado a la cultura e identidad de los pueblos indígenas. El maíz es una de las plantaciones más importantes ya que brinda elementos nutritivos para la alimentación del ser humano y animales. Uno de los problemas que deben enfrentar los agricultores son las implicaciones que están directamente vinculadas con la falta de tecnología como a su vez el del clima, ya que los cultivos del maíz se ven afectados por las variaciones de temperatura y por la falta de implementación tecnología hacia la misma, provocando una disminución en el rendimiento de los cultivos y ocasionando pérdidas a los agricultores del sector. Por lo antes expuesto en este proyecto se propone diseñar e implementar un sistema de monitoreo de las variables como son: de la radiación solar, el CO<sub>2</sub>, el pH y el nitrógeno del suelo que afectan al cultivo. El sistema propuesto consta de una red de sensores la cual se va a encargar de adquirir los datos de las condiciones agroecológicas del cultivo maíz, una interfaz web de fácil uso que sirve para el manejo de la información almacenada y un sistema de energía renovable fotovoltaica. Los resultados indican que este sistema es una herramienta de apoyo que permite a los agricultores a la toma decisiones para mejorar el desarrollo y producción de los cultivos, así como, llevar a cabo acciones que eviten o minimicen, enfermedades y plagas en los cultivos.

**Palabras clave:** Radio frecuencia, Arduino, Huawei, Energía renovable

## **2.1. Abstract**

Among the different activities that give rise to the economic and social development of populations worldwide, agriculture is one of the fundamental ones, since the feeding of millions of people depends on it. In Ecuador, especially in the province of Loja, Zapotillo and Pindal canton, one of the most important crops is corn, since it is linked to the culture and identity of indigenous people. Corn is one of the most important crops because it provides nutrients for human and animal nutrition. One of the problems faced by farmers are the implications that are directly linked to the lack of technology and climate, since corn crops are affected by temperature variations and the lack of technology implementation, causing a decrease in crop yields and causing losses to farmers in the sector. Therefore, this project proposes to design and implement a monitoring system for variables such as solar radiation, CO<sub>2</sub>, PH and soil nitrogen that affect the crop. The proposed system consists of sensor network which will be responsible for acquiring data on the agroecological conditions of the corn crop, a user-friendly web interface for managing the stored information, and a pHotovoltaic renewable energy system. The results indicate that this system is a support tool that allows farmers to make decisions to improve crop development and production, as well as to carry out actions to avoid or minimize crop diseases and pests.

**Keywords:** Radio Frequency, Arduino, Huawei, Renewable Energy.

### 3. Introducción

El presente proyecto aplica las características generales de la denominada Internet de las cosas ya que, es un sistema orientado a la medición de variables aplicada al cultivo de maíz para la asociación agropecuaria Guacacocha ubicada en Tambillo, parroquia Paletillas, cantón Zapotillo, provincia de Loja.

Los sistemas tecnológicos minimizan la brecha tecnológica, mediante el desarrollo de un sistema de medición de variables: pH, Nitrógeno, Radiación Solar y Dióxido de Carbono y a su vez generar una solución para la comunicación de cada uno de los dispositivos. La generación de una plataforma para la lectura e interpretación de los datos arrojados de cada uno de los sensores aplicando tecnologías que aporte al desarrollo de la asociación como a su vez del sector, generando soluciones tecnológicas amigables con el medio ambiente procurando la gestión y desarrollo sustentable.

Las redes de comunicación en zonas aisladas suelen carecer de soluciones tecnológicas realmente apropiadas, realistas y sostenibles, debido en gran parte a las siguientes características específicas de estos contextos.

- No sólo se carece de infraestructuras de telecomunicación; también suele ser prácticamente inexistente o de mala calidad la infraestructura de electrificación y, en muchos casos las vías de acceso. La necesidad de dotar a los sistemas de telecomunicación de alimentación eléctrica autónoma para garantizar su funcionamiento continuo y su durabilidad los encarece y dificulta su mantenimiento, y la ausencia de vías de acceso también encarece y dificulta tanto el despliegue de redes como su mantenimiento.
- La población es de limitados recursos económicos y dispersa, por lo que no puede soportar los costos de infraestructuras caras de instalar, mantener y operar. Tampoco los países en vías de desarrollo están en condiciones de poder subvencionar la instalación de redes de comunicaciones rurales es en pro de la cobertura total, tanto por su falta de recursos o la gestión de las autoridades competentes.

## OBJETIVOS

### GENERAL

Diseñar e implementar una red de sensores para la recolección de información sobre el suelo y el clima, y sus efectos en la producción de maíz para la “Asociación Agropecuaria Guacacocha” ubicada en Tambillo, Parroquia Paletillas, cantón Zapotillo, de la Provincia de Loja.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar y determinar una solución técnica, óptima para la elección de sensores a utilizar en la medición de: pH, Nitrógeno, CO<sub>2</sub> y Radiación Solar para los terrenos de la “Asociación Agropecuaria Guacacocha”.
- Identificar las tecnologías inalámbricas y protocolos a utilizar para la adquisición, monitoreo y envío de datos.
- Desarrollo de una interfaz inalámbrica que permita la adquisición y registro de los datos que provienen de los sensores.
- Evaluar el desempeño del sistema implementado y contemplar el manejo de variables aplicado al cultivo de maíz.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Asociación Agropecuaria Guacacocho

La asociación agropecuaria Guacacocho se encuentra constituida desde el 5 de octubre del 2020 hasta la actualidad, la misma que se encuentra ubicada en el barrio Tambillo perteneciente al GAD parroquial de paletillas, cantón Zapotillo provincia de Loja, a esta asociación pertenecen 15 miembros, cuyo representante es el Dr. Marcelo Bolívar Eras, los cuales se dedican al cultivo y comercialización de maíz.

**Figura 1.** Miembros de la asociación agropecuaria Guacacocho.



**Nota.** Reuniones que realizan los socios para tratar asuntos relacionados con los cultivos.

La asociación produce anualmente entre 500 y 800 quintales de maíz, la cual se ha visto en necesidad de implementar un sistema que permita monitorear los cultivos debido a los diferentes acontecimientos como es: el cambio climático, déficit de nutrientes, desviación del pH del suelo, la incidencia de los rayos Uv, el Dióxido de carbono del ambiente. Para de esta manera mejorar el proceso de cultivo de maíz. Por este motivo, la asociación se encuentra en la fase de prevenir, ya que no solo interfiere a nivel medioambiental, sino también a nivel económico.

## **4.2. Generalidades de la Plantación de Maíz**

El cultivo del maíz tuvo su origen, con toda probabilidad, en América Central, especialmente en México, de donde se difundió hacia el norte hasta el Canadá y hacia el sur hasta la Argentina. La evidencia más antigua de la existencia del maíz, de unos 7.000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América. Este cereal era un artículo esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; ambos pueblos incluso afirmaban que la carne y la sangre estaban formadas por maíz (Ramón et al., 2011). La supervivencia del maíz más antiguo y su difusión se debió a los seres humanos, quienes recogieron las semillas para posteriormente plantarlas.

El maíz también conocido como (*Zea mays*), es una planta gramínea es decir está estructurada en base a un tallo cilíndrico hueco y se cubre por nudos, cubiertos por hojas largas y angosta. El maíz es, junto al trigo y a otros cereales, uno de los alimentos básicos de toda la Humanidad ya que permite la generación de una gran variedad de preparaciones y platos que son tanto accesibles en términos económicos como ricos en energía y nutrientes (COCUPO MEDIA, 2019). Por otro lado, el maíz es también altamente utilizado como alimento de ganado o de animales de los cuales se obtiene otros alimentos como la leche.

El maíz es uno de los alimentos básicos más importantes que conoce el ser humano ya que en torno a él se pueden realizar gran cantidad de preparaciones, así como también pueden obtenerse de él numerosos productos derivados (por ejemplo, harinas, aceites, etc.). Subsecuentemente (Ramón et al., 2011), el maíz es altamente utilizado como alimento de gran parte de los ganados que luego son consumidos o utilizados como productores de alimento, por lo cual su importancia es enorme.

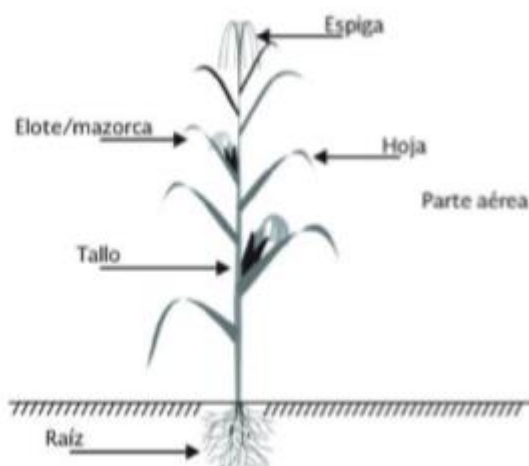
En Ecuador, actualmente, se cultiva en diferentes ecosistemas que van desde las tierras tropicales hasta las zonas serranas, pasando por los territorios desérticos. La producción de maíz incorpora la acumulación de un conocimiento vasto sobre las condiciones naturales de los suelos, de los fenómenos meteorológicos, de sus propiedades alimenticias y, en algunos casos, medicinales, por ejemplo, el cabello de maíz preparado en infusión que tiene funciones diuréticas, entre otras (Emilio Rodrigo Basantes Morales, 2015).



#### 4.2.1. Características de la Planta de Maíz

La planta de maíz se desarrolla fácilmente y es robusta, llegando a medir entre 2,70 a 3 m, está constituida por la raíz, tallo, hojas, flor y el grano, como se puede visualizar en la Figura 2.

**Figura 2.** Estructura de una planta de maíz.



**Fuente.** (González-Cortés et al., 2016).

**Raíz:** es fasciculada o subterránea, la cual se encarga que la planta tenga un correcto agarre, tiene tres tipos de raíces las cuales son:

- **Seminales:** nacen en semillas después de la radícula para afirmar la planta, estas son temporales.
- **Permanentes:** están incluidas las principales y secundarias, nacen encima de las primeras raicillas en las zonas de la corona, este es el sistema radicular principal.
- **Adventicias:** están nacen de los nudos de los tallos, son el sostén en las últimas etapas de crecimiento, con las cuales absorben el agua y sustancias nutritivas.

**Tallo:** el tallo este compuesto a su vez por tres capas, una epidermis exterior, impermeable y transparente, una pared por donde circulan las sustancias y una medula de tejido esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial azucres.

**Hojas:** presenta de 15 a 30 hojas alargadas y abrazadoras de 4 a 10 cm de ancho por 35 a 50 cm de longitud; tiene borde aserrado, finamente ciliado y algo ondulado.

**Flor:** es monoica es decir tiene dos tipos de flores, las flores femeninas las cuales están ubicadas en la axila de algunas hojas, formando una inflorescencia en espiga rodeada por brácteas largas, a la espiga se llama mazorca y está formada por espiguillas en el caso de fecundación. Las flores masculinas 3 a 10 filas de espiguillas emparejadas, y están compuestas por dos glumas y tienen dos flores con tres estambres siendo las dos flores fértiles como se puede observar en la Figura 3.

**El grano:** Dispone en hileras longitudinales estos son abundantes en una mazorca es aplastado en un plano perpendicular al eje de la mazorca. Este se inserta a la mazorca por el pedúnculo de la flor y posee de 10 a 12 granos, el color también es variado como blanco o amarillo, tiene forma ovoidal y picudo.

**Figura 3.** Flores de la planta de maíz.



#### 4.2.2. Ciclo Vegetativo

El cultivo de maíz tiene un ciclo determinado por diferentes etapas, como se puede observar en la Figura 4: que son germinación, crecimiento, floración, fructificación, maduración y secado.

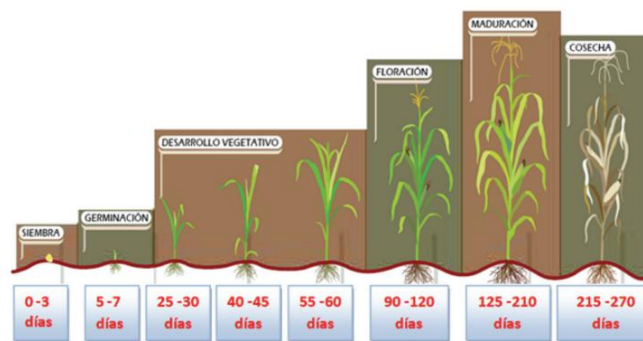
**Germinación:** Esta etapa comprende el tiempo que transcurre desde la siembra hasta la aplicación del coleóptilo, tiene una duración de entre 6-8 días, (Betancourt Yanez et al., 2019) esta fase es la más importante la cual debe producir en excelentes condiciones de germinación.

**Crecimiento.** Al nacer el maíz, en este ciclo existen condiciones normales van a aparecer una hoja cada 3. Entre las 4-5 primeras semanas la planta debe estar conformada por todas sus hojas (González-Cortés et al., 2016).

**Floración:** a los 25 días que se realizó la siembra aparece la flor masculina ubicada en el interior del tallo en la base, de 4-6 semanas inicia la liberación del polen y alargar los estilos. La liberación del polen va desde 5-8 días, aquí puede existir un problema si no existe una temperatura correcta o falta de lluvia (Betancourt Yanez et al., 2019).

**Fructificación:** la fecundación de los óvulos por el polen comienza la etapa de la fluctuación, en donde los estilos de la mazorca conocidos como sedas cambian a un color castaño.

**Figura 4.** Ciclo vegetativo de la planta de maíz.



**Fuente** (Yanez et al., 1998).

#### 4.3. Variables Climáticas que Afectan la Producción de Maíz

El cambio climático en todo el mundo está afectado ampliamente en el campo de la agricultura, ya que las variables climáticas que influyen en el desarrollo del cultivo son las lluvias, temperatura y la radiación solar.

**Temperatura:** es muy importante ya que afecta directamente en el crecimiento del maíz la cual requiere una temperatura de 25-30 °C, y pueden soportar temperaturas mínimas hasta 8 °C, pero si la temperatura es mayor a 30 °C existen problemas para la buena absorción de nutrientes y agua, lo cual afecta al desarrollo de la planta de maíz. La temperatura del suelo es fundamental para la germinación de la semilla y para el desarrollo de las raíces.

**Radiación Solar:** es una de las variables climáticas importantes para el crecimiento correcto y tener una producción de calidad, ya que la planta de maíz necesita bastante incidencia de luz solar para que pueda crecer más rápido y de forma eficiente, pero en las etapas finales no existe mucha captación de radiación solar porque las hojas ocupan mayor espacio lo que ocasiona que sea menos eficiente. Pero también necesita grandes cantidades de agua ya que es una consecuencia que provoca la fotosíntesis, y para que pueda producir 1 Kg de granos necesita 1000 litros de agua. La luminosidad debe ser alta en el maíz, y la ideal debe ser captada entre 6 -7 horas de la luz al día.

**Humedad:** cuando existe poca humedad en el suelo provoca que la planta de maíz no germine muy bien, crece poco y no florece bien, ocasionando que los granos sean muy pequeños. Cuando hay exceso de humedad daña los cultivos, esto es ocasionado cuando existe fuertes lluvias por lo cual se acumula el agua en los cultivos provocando falta de oxígeno en la raíz y ocasiona que haya un cambio de color amarillento en las hojas y se reduce el crecimiento de la planta.

#### **4.4.Requerimientos del Cultivo**

El desarrollo de la planta depende de las condiciones ambientales donde está comprendida la temperatura, humedad y radiación ya que con sequías y temperaturas elevadas se ocasiona una maduración temprana. La temperatura ideal para la germinación debe ser de entre 20 a 25 °C, el cambio del ciclo vegetativo al reproductivo se da más temprano cuando hay días con poca luz, cuando hay días de mucha luz el ciclo reproductivo se atrasa. En la floración se necesita una temperatura entre 21 a 30 °C, si hay temperaturas superiores existe una inflorescencia masculina más temprana que la femenina. La planta de maíz necesita mucha agua provoca amarillamiento en la planta y los cambios climáticos como heladas, granizo provocan trastornos fisiológicos (Ramón et al., 2011). Estos requerimientos del cultivo lo podemos ver en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Requerimientos del cultivo de maíz.

<b>Requerimientos del cultivo de maíz</b>	
<b>Condiciones</b>	Templado, Tropical y Subtropical
<b>Humedad relativa</b>	50 % a 80 %
<b>Temperatura Base</b>	10 °C
<b>Temperatura Optima</b>	Germinación: 18-20 °C Crecimiento: 25- 30 °C Noche: 17-23 °C
<b>Radiación</b>	500 – 600 cal/ cm <sup>2</sup> / día
<b>Humedad del suelo</b>	25-60 %
<b>Temperatura del suelo</b>	15-20 °C

*Fuente.* (González-Cortés et al., 2016).

#### **4.4.1. Suelo**

Los suelos ideales para el cultivo de maíz deben tener una textura intermedia es decir tenga la capacidad de retener la humedad como sucede en los suelos arcillosos y drenar el agua como pasa en los suelos arenosos, y una buena estructura para que almacene agua y los nutrientes necesarios. En donde las raíces del maíz crecen en una profundidad de 60 cm, por esto el suelo debe estar drenando y airado, porque esta planta es menos tolerante a la difusión de aire en el suelo (Ramón et al., 2011).

El pH del suelo está comprendido entre 5-8, ya que valores menores a 5 dan problemas de toxicidad de aluminio, magnesio y hierro, y si es mayor hay problemas nutricionales por hierro y fosforo, cuando ocurro un mayor daño es por la falta de humedad (Acosta & Acosta, 2009).

#### **4.4.2. Preparación del Suelo**

Este paso es muy importante ya que se los realiza de manera rudimentaria mediante la quema de pastizales y residuos encontrados de anteriores sembríos, pues debido al difícil acceso de maquinaria a los terrenos no es posible que los mismos sean arados, por lo general esta actividad se la realiza en los meses de septiembre y diciembre.

**Figura 5.** Preparación de los terrenos de la asociación.



*Nota.* Preparación del suelo, de forma ancestral que consiste en quemar los pastizales y residuos de anteriores sembríos, por el motivo que no cuentan con maquinaria.

#### **4.4.3. Siembra**

En este proceso se selecciona las mejores semillas para que sean resistentes a las enfermedades y plagas, las siembras se realizan cuando el suelo tiene una temperatura de 12 °C, y se pueden realizar de forma manual o con animales (Emilio Rodrigo Basantes Morales, 2015). En los terrenos de la asociación la siembra se desarrolla con una herramienta llamada barreno o tola por lo general se usa el maíz híbrido ya que presenta mejoras en el rendimiento y en la composición del grano, el mismo que es tolerante a plagas y enfermedades, y a situaciones de estrés abiótico, entre otras, la siembra se realiza colocando dos o tres semillas en cada orificio del suelo con una separación de 20 a 25 cm y una profundidad de 5 cm.

#### **4.4.4. Fertilización y Control de Plagas**

El maíz es una planta que necesita de suelos con fertilidad natural al momento de cultivar para que se pueda desarrollar de forma correcta, en donde se realiza fertilización mediante el

abonado del terreno el cual consiste en utilizar abonos basados en los desechos fecales de los animales para que sea suficiente para la nutrición de las plantas de manera natural y también se puede realizar aplicando fertilizantes comerciales.

El control de plagas es muy importante ya que, existen muchos insectos que se encuentra en el suelo y se alimentan de las semillas raíces y los tallos, provocando que la planta no se desarrolle correctamente ocasionando que se pudra. Este control se realiza con herbicidas para poder controlar las plagas ya que algunos tipos de maíz no son resistentes a los insectos.

#### **4.4.5. Enfermedades del Maíz**

Las enfermedades de la planta de maíz son ocasionadas por bacterias y hongos, que provocan daños y el buen desarrollo de los cultivos, es necesario prevenir o controlar un brote antes que produzca daños importantes en la planta. Las principales enfermedades que afectan al maíz son:

##### **Mancha café**

Esta enfermedad es provocada en áreas donde existe una abundante precipitación pluvial y altas temperaturas, la cual ataca a las hojas, vainas y tallos. Los primeros síntomas de esta enfermedad se pueden observar en la hoja de maíz, aparece unas pequeñas manchas cloróticas las cuales se encuentran tejidos sanos y enfermos, las manchas en la nervadura central son de forma circular y de un color café, (Varon & Sarria, 2007) en ocasiones estas infecciones pueden ser severas y ocasionar la pudrición del tallo esta enfermedad se puede observar en la Figura 6.

**Figura 6.** Mancha de café del maíz.



*Fuente.* (Cardena, 2019).

### **Royal tropical**

Este hongo aparece en los trópicos cálidos y húmedos, los brotes de esta enfermedad son en forma de pústulas las cuales tiene una forma circular y ovalada, tiene la lesión de un color amarillo y blanco en donde existe un orificio, (María Elena Estrada Martínez, 2021) si el ataque es severo puede ocasionar una caída de la hoja se observa en la Figura 7.



**Figura 7.** Royal tropical en la planta de maíz.



*Fuente.* (María Elena Estrada Martínez, 2021).

### **Mancha de Asfalto**

Esta enfermedad se da en las zonas húmedas de los trópicos, donde manchas brillantes y abultadas de un color negro, después se desarrollan áreas necróticas en el tejido las cuales si se une provocan la quemadura completa del follaje (Varon & Sarria, 2007), estas lesiones son de forma circular de un diámetro de 5 a 6 cm como se puede observar la Figura 8.

**Figura 8.** Mancha de asfalto de maíz.



*Fuente.* (María Elena Estrada Martínez, 2021).

#### **4.5. Agricultura de Precisión**

La agricultura de precisión se puede definir como la estrategia que agrupa a un conjunto de tecnologías encargadas de recoger, procesar y analizar datos temporales, espaciales e individuales, combinándolos con varios tipos de información para respaldar las decisiones de manejo de lotes con características productivas similares y su manejo diferenciado (García & Flego, 2005).

Los beneficios de la agricultura de precisión son claros. El enfoque define los cultivos y los requisitos del suelo para una productividad óptima, por un lado, y para preservar los recursos, garantizar la sostenibilidad y la protección del medio ambiente, por el otro. Este proceso en la agricultura ayuda a resolver problemas más críticos de la agricultura: el desperdicio de recursos, los altos costes y el impacto medio ambiental.

##### **4.5.1. Importancia de la Agricultura de Precisión**

La agricultura de precisión es la de optimizar la gestión de una parcela desde el punto de vista, agronómica porque ajusta las prácticas de cultivos a las necesidades de la planta, reduciendo el impacto ambiental de las mismas y de allí su importancia desde el punto de vista medio ambiental.

La importancia de la agricultura de precisión ya que es un sistema empleado para analizar y controlar la variación de los cultivos por medio de tecnologías satelitales, monitoreo y maquinaria automatizada. Dicha variabilidad comprende las diferencias en la fertilidad de distintas secciones del terreno y las que se dan durante el crecimiento de las plantas cultivadas, además de las diferencias observadas en la producción de un mismo terreno entre una temporada y otra (Santillán & Rentería, 2018).

#### **4.5.2. La Agricultura de Precisión en el Mundo**

El concepto de agricultura de precisión apareció en Estados Unidos a principios de los años 80. Hace finales de los 80 y gracias a las extracciones realizadas mediante muestras, aparecieron los primeros mapas de preconización para las aportaciones moduladas de elementos fertilizados y para las correcciones de pH, la evolución de la tecnología permitió el desarrollo de sensores de rendimiento y su uso, unido a la aparición del GPS, no ha dejado de crecer hasta alcanzar en la actualidad varios millones de hectáreas cubiertos por estos sistemas.

La agricultura de precisión se desarrolla a ritmos diferentes en función de los países. Entre los países pioneros encontramos por supuesto a los Estados Unidos, a Canadá y Australia. El país de América Latina más involucrado con esta metodología de manejo de cultivos, tanto en tasa de adopción, como en desarrollo de agro-componentes de alta complejidad es sin lugar a duda la Republica de Argentina.

#### **4.6. Energía Fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica consiste en la conversión directa de la energía solar en energía eléctrica mediante células fotovoltaicas. Estas células son una lamina semiconductora de silicio con la propiedad de que al incidir la radiación solar sobre ellas se produce una diferencia de potencial que se aprovecha en forma de electricidad.

La electricidad es una de las formas de energía más versátil y que mejor se adaptan a cada necesidad. Hoy en día existen miles de aparatos que, bien en forma de corriente continua o de corriente alterna, utilizan la electricidad como fuente de energía, y su uso ha provocado un gran aumento de la demanda de consumo eléctrico.

La energía solar fotovoltaica presenta ventajas e inconvenientes tanto técnicos como no técnicos. En la Tabla 2 identificamos las ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica. Algunos de estos últimos no son técnicos, sino que están relacionadas con la economía o la infraestructura, pero pueden compensarse parcialmente gracias a la aceptación pública y por los indudables beneficios al medio ambiente. Según la literatura de un grupo de nuevas actividades profesionales (Francisco Mellado Garcia, 2022), nos manifiesta que durante la segunda mitad de los años 90 la producción creció una media del 33 % anual y en el siglo XXI lo está haciendo al 40 %.

**Tabla 2.** Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica.

<b>VENTAJAS</b>	<b>INCONVENIENTES</b>
Limpia, renovable, infinita, silenciosa	Gran inversión inicial
Retribuida económicamente la producción para venta a red	Difícil almacenamiento
Subvenciones	Proceso de fabricación de módulos complejo y caro
Sin partes móviles y modular	Producción variable según climatología y época del año

*Fuente.* (Francisco Mellado Garcia, 2022).

#### **4.6.1. Análisis de la Instalación Fotovoltaica**

El análisis empieza determinando que en los sectores donde se encuentran los cultivos de maíz y por ser un sector alejado de los sectores rurales, no cuentan con el servicio de energía eléctrica para ello se propuso para poder dotar de energía a nuestro sistema, de la energía solar ya que nos sirve para crear la energía fotovoltaica. Es así como la energía solar se convierte en un ahorro para el campo, mejorando las finanzas de quienes la utilizan y aportando beneficios para el medio ambiente. Es por eso que cualquier proyecto agroindustrial, sea cultivo, crianza de ganado, están empleando en la actualidad la energía solar como fuente para el desarrollo de las actividades propias de cada una, y nuestro país es privilegiado por la zona donde se encuentra y como aporte a ello se puede decir que las regiones montañosas no son un impedimento para implementar este tipo de tecnología.

La energía solar está en aumentando rápidamente a medida que los países intensifican sus esfuerzos en materia de energía renovables e intentan reducir las emisiones de dióxido de carbono procedente de la generación de electricidad (NS ENERGY, 2021), la energía solar fotovoltaica es la más consolidada de las tecnologías energéticas, y conforme aumenta su escala, los costes de desarrollo se reducen. El uso de las energías renovables en la agricultura en especial la solar, considera una herramienta muy útil para desarrollar las comunidades rurales.

#### **4.7. Internet de las Cosas**

El internet de las cosas o también llamada IoT se refiere a la interconexión en red de todos los objetos cotidianos, que a menudo están equipados con algún tipo de inteligencia. En este contexto, internet puede ser también una plataforma para dispositivos que se comunican electrónicamente y comparten información y datos específicos con el mundo que les rodea. Así la IoT puede verse como una verdadera evolución de lo que conocemos como internet añadiendo una interconectividad más extensa, una mejor percepción de la información y servicios inteligentes más completos (D. Evans, 2011).

Nuevas plataformas de infraestructuras y aplicaciones de software se ofrecen en el marco de la IoT. Algunas de las principales ventajas y beneficios de la IoT, serán la creación de servicios innovadores con un mejor rendimiento y soluciones de valor añadido, junto con la reducción de los costos de adquisición de datos de los servicios existentes y la oportunidad de crear nuevas fuentes de ingresos en un contexto de un modelo de negocios sostenible, (Universidad de Deusto, 2017) estas aplicaciones se pueden orientar a los consumidores, negocios, comerciales y actividades de encuestas, a la comunidad industrial y científica mediante el aprovechamiento de los desarrolladores de aplicaciones.

##### **4.7.1. Aplicaciones Relacionadas con el Uso de Tecnologías IoT**

El IoT se está convirtiendo en una realidad y a poco se está introduciendo en nuestras vidas, aunque tengamos la sensación de que es una tecnología del futuro, la realidad es que a día de hoy podemos encontrar aplicaciones del IoT que se están usando en diferentes sectores en la Tabla 3 veremos ejemplos prácticos y aplicaciones que se encuentran en el mercado y cuya función varía según e sector al que va destinado.

**Tabla 3.** Aplicaciones de internet de las cosas.

<b>Aplicaciones</b>	<b>Descripción</b>
<b>Smart Home</b>	Cuando hablamos de Smart home nos referimos a una casa inteligente, ya que es capaz de automatizar una serie de actividades y procesos en el hogar con el fin de optimizar el consumo y proporcionar una mayor comodidad.
<b>Wearable</b>	Los wearable son los dispositivos que se usa en el cuerpo humano y que interactúa con otros aparatos para transmitir o recoger algún tipo de datos por ejemplo los relojes o pulseras inteligentes que nos permiten interactuar con nuestro entorno como a su vez nos permite conocernos mejor.
<b>Smart cities</b>	Las Smart cities hacen referencia a las ciudades inteligentes ya que permitira conectar y comunicar a sus habitantes mediante la infraestructura y el uso eficiente de la tecnología, tiene el potencial de transformar ciudades enteras resolviendo problemas reales a los que los ciudadanos enfrenta cada día,
<b>Agricultura</b>	Cuando hablamos de agricultura inteligente nos referimos a la aplicación de las nuevas tecnologías al ámbito agrícola. Se trata de incorporar las últimas innovaciones tecnológicas con el objetivo de optimizar los recursos y tomar decisiones gracias a la información o datos obtenidos a través de la misma.

*Fuente.* (Fedele, 2011).




#### **4.7.2. Red de Sensores Aplicada a la Agricultura.**

Las redes de sensores inalámbricos están formadas por un conjunto de dispositivos conocidos como nodos, se han vuelto muy importantes en diferentes áreas como la industria, domótica y en la agricultura. Las redes inalámbricas en la actualidad son utilizadas en diferentes áreas, por ello su elección consiste a que distancia y rapidez se requiere transmitir los datos, según esto se utilizara el tipo de red con las características adecuadas. Los nodos se pueden distribuir en un cultivo en el cual se quiera monitorizar diferentes condiciones, en el caso de la agricultura se monitorea las variables ambientales que influyen en el cultivo. Estas redes de sensores se encuentran ubicadas en lugares en donde quieren optimizar la producción de sus productos.

#### **4.8.Comparación de las Tecnologías Inalámbricas para la Red de Sensores**

Para la selección de la tecnología adecuada para la implementación de la red de sensores se ha evaluado tres tipos de donde la siguiente Tabla 4 determina las características de cada una de ellas.

**Tabla 4.** Características de las tecnologías inalámbricas.

	<b>Transceptor LoRa SX1278</b>	<b>Transceptor Ra-01 NRF24L01 +PA+LNA</b>	<b>XBee S2C</b>	<b>ZigBee</b>
<b>Tipo de Módulo</b>				
<b>Fuente de alimentación</b>	1.8 ~ 3.7 V	1.9 ~ 3.6 V	2.7 ~ 3.6 V	
<b>Rango de frecuencia</b>	137 - 525 MHz	2.4 GHz Banda ISM (2400 – 2525) MHz	2.4 GHz Banda ISM (2.4 – 2.5) GHz	
<b>Modulación</b>	FSK, LoRa y OOK	GFSK	DSSS	
<b>Consumo de Energía</b>	Corriente en Modo Power Down 0.2 – 1 uA	900 nA	<1 uA	
	Corriente de funcionamiento (Transmisión)	20 mA	8 mA	33 mA – 45 mA
	Corriente de funcionamiento (Recepción)	10.8 mA	8.9 mA	28 mA – 31 mA
<b>Potencia máxima de salida</b>	20 dBm	18 dBm	8 dBm	
<b>Sensibilidad del receptor</b>	(-111 a -148) dBm	(-82 a -94) dBm	(-100 a -102) dBm	
<b>Distancia de alcance con línea de vista</b>	<10 Km	1000 m	1200 m	
<b>Complejidad de implementación</b>	Normal	Fácil	Difícil	
<b>Temperatura de operación</b>	-40 a 85 °C	-40 a 85 °C	-40 a 85 °C	
<b>Costo</b>	\$15,00	\$10,00	\$30,00	

*Nota:* A partir del análisis de la referencia citada (César, 2019), se muestra las características de cada una de las tecnologías inalámbricas para una red de sensores.

Una vez analizadas las características de los tres diferentes módulos inalámbricos para redes de sensores, se optó por aquel con menor consumo de energía, costo y nivel de complejidad de implementación, el Transceptor NRF24L01 +PA+LNA el cual posee un amplio rango de alcance de 1000 metros, así como una potencia de salida máxima de 18 dBm.

#### **4.9. Tecnología GSM**

La tecnología GSM es un estándar internacional para teléfonos móviles que transmiten datos y voz. Utilizando tres componentes por separado de la red GSM, emplean una tarjeta de identificación en que los usuarios pueden utilizar según su cobertura o costo de las llamadas o servicio de voz y datos, esta tarjeta se denomina SIM o chip, la cual es una tarjeta desmontable donde se almacena datos referentes a la suscripción del usuario con la compañía telefónica, parámetros de red y directorio telefónico del usuario y la compañía a la cual el usuario esta activado.

La onda de radio de radio GSM se encuentran disponibles en diversas bandas dentro de los rangos de 824 MHz hasta 1.990 MHz (Verónica Diaz, 2015).

##### **4.9.1. Ventajas de la tecnología GSM**

La tecnología GSM presenta varias ventajas para la comunicación las cuales dependen de la calidad de cobertura:

- Cobertura
- Usuarios
- Claridad de voz
- Economía

##### **4.9.2. Desventajas de la tecnología GSM**

La tecnología GSM presentan varias desventajas para la comunicación las cuales dependen de la calidad de cobertura.

- Interferencias con equipos electrónicos.
- La trasmisión puede afectarse por su cobertura.
- La trasmisión se bloquea en lugares de alto riesgo donde se emplean inhibidores.



#### 4.10. Elección de la red celular a utilizar

Para la elección de la red celular a utilizar se consideró costo, beneficio para ello se averiguo la tarifa de datos móviles de cada uno de las operadoras pudiendo constatar que la red móvil claro posee diferente tipo de planes que se lo especificara en una Tabla 5.

**Tabla 5.** Planes postpago de claro.

<b>Plan básico</b>	<b>Plan básico Max</b>	<b>Plan ideal</b>	<b>Plan ideal Max</b>	<b>Plan plus</b>
\$ 12,00	\$ 15,00	\$ 17,00	\$ 19,00	\$ 21,00
Pago anticipado	Pago anticipado	Pago anticipado	Pago anticipado	Pago anticipado
Internet:12 gigas +whatsapp Facebook Messenger	Internet:15 gigas +whatsapp Facebook Messenger	Internet:17 gigas +whatsapp Facebook Messenger	Internet:19 gigas +whatsapp Facebook Messenger	Internet:21 gigas +whatsapp Facebook Messenger
150 minutos multidestino	200 minutos multidestino	230 minutos multidestino	300 minutos multidestino	350 minutos multidestino

**Nota:** Elaboración propia haciendo referencia a los planes encontrados en la página web [www.claro.com.ec](http://www.claro.com.ec).

Para la red móvil Tuenti ofrece combos de datos móviles y llamadas en la siguiente Tabla 6 se especifica cada uno de ellos.

**Tabla 6.** Combos de la red móvil Tuenti.

<b>Combo de 5 Gigas</b>	<b>Combo de 10 Gigas</b>	<b>Combo de 15 Gigas</b>	<b>Combo de 20 Gigas</b>
\$ 7,00 mensuales	\$10,00 mensuales	\$20,00 mensuales	\$25,00 mensuales
Whatsapp gratis	Whatsapp gratis	Whatsapp gratis	Whatsapp gratis
Llamadas ilimitadas entre tuentis	Llamadas ilimitadas entre tuentis	Llamadas ilimitadas entre tuentis	Llamadas ilimitadas entre tuentis
50 minutos a todas las operadoras	100 minutos a todas las operadoras	400 minutos a todas las operadoras	50 minutos multidestino

**Nota:** Elaboración propia haciendo referencia a los precios encontrados en la página web [www.tuenti.ec](http://www.tuenti.ec).

Al realizar las comparaciones de las operadoras telefónicas optamos por la red móvil Tuenti, ya que la misma cuenta con cobertura en el sector, y una tarifa accesible, para ello se contratará un plan mensual de 7 dólares el cual incluye 5 gigas que solventara el envío de datos por parte del sistema a implementar.

#### **4.11. Tecnología WI-FI**

La tecnología WI-FI permite la comunicación entre sistemas informáticos y electrónicos como Pc, Televisores, Teléfonos, y otros dispositivos pueden conectarse a internet para intercambiar datos o conectarse a un punto de acceso de una red inalámbricas para acceder a internet que utiliza el estándar IEEE 802.11.

El gran uso de esta tecnología en nuestros dispositivos ha originado que lugares públicos como terminales, parques, centros comerciales entre otros; ofrezcan el servicio de internet utilizando redes WI-FI, las cuales permiten conectarse y navegar rápidamente (Fernando et al., 2017).

##### **4.11.1. La Estándar IEEE 802.11**

Se trata del conjunto de normas formulada por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) que define los parámetros de comunicación inalámbrica, la Tabla 7 especifica las características principales de este conjunto de normas (Solórzano Ramón, 2019).

**Tabla 7.** Familia de protocolos de comunicación inalámbricos 802.11.

<b>Protocolo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Velocidad teórica</b>	<b>Modulación</b>
<b>802.11a</b>	5 Ghz	54 Mbit/s	OFDM
<b>802.11b</b>	2,4 Ghz	11 Mbit/s	CCK modulada con QPSK
<b>802.11g</b>	2,4 Ghz	54 Mbit/s	DSSS, OFDM, CCK,
<b>802.11n</b>	2,4 Ghz, 5 Ghz	450 Mbit/s	OFDM
<b>802.11ac</b>	5 Ghz	1.300 Mbit/s	256-QAM

*Nota.* La Tabla 7 muestra los protocolos, la frecuencia de operación de cada protocolo, la velocidad en que se maneja cada protocolo y la modulación en la que opera cada protocolo.

#### **4.11.2. Modos AP inalámbricos**

- Access Point.
- Access Point Bridge.

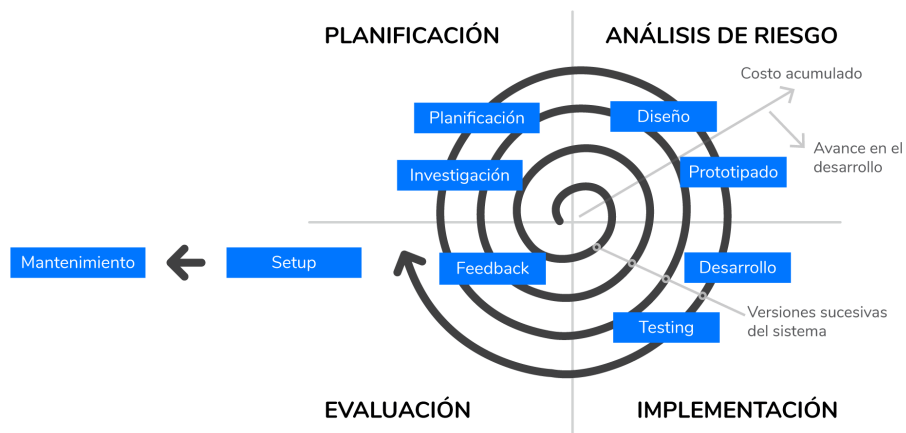
#### **4.11.3. Modos Station inalámbricos**

- Modo station.
- Modo station-wds.
- Modo station-pseudobridge.
- Modo station-pseudobridge-clone.
- Modo station-bridge (MikroTik, 2019).

## 5. Metodología

Utilizando un modelo de desarrollo espiral se procedió a esquematizar el desarrollo del proyecto, la Figura 9 detalla el funcionamiento de este modelo, lo que se busca al utilizar este esquema es la ejecución en ciclos crecientes que atraviesan cuatro fases bien definidas tales como planificación, análisis de riesgo, implementación y evaluación, esto con el objetivo de evitar el coste de fallo y aumentar exponencialmente la funcionalidad del proyecto (ASP gems, 2019).

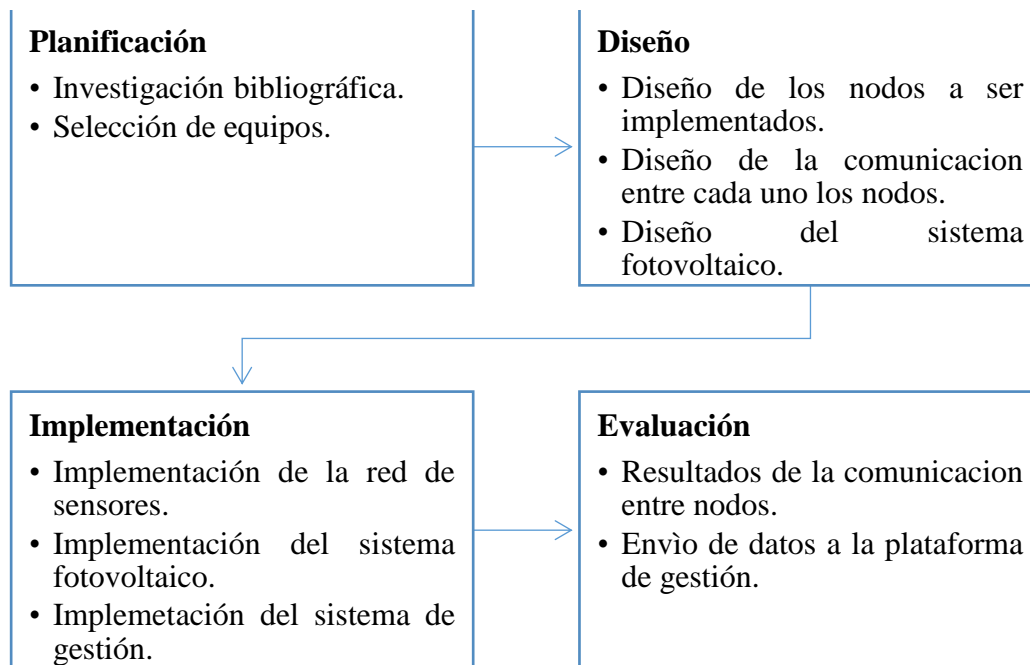
**Figura 9.** Diagrama de Modelo en Espiral.



*Fuente.* ASP gems.

Una vez definido el método de trabajo se procedió a realizar un diagrama de flujo el cual represente el procedimiento para ejecutar correctamente este trabajo de titulación, detallando en la Figura 10 las cuatro etapas más relevantes a realizar.

**Figura 10.** Diagrama de flujo de desarrollo de materiales y métodos.



*Nota.* El gráfico representa cada uno de los pasos a seguir, al momento de ejecutar el proyecto.

## 5.1. Planificación

### 5.1.1. Recopilación y Análisis de Información

El propósito del diseño e implementación de una red de sensores para el cultivo de maíz en esta primera etapa es recolectar datos de todos los factores involucrados en el sistema:

Se procede a la búsqueda y recopilación de toda la información en las diferentes bases de datos referente al cultivo de maíz, y los factores que influyen en el crecimiento y producción del mismo.

De acuerdo con la información obtenida sobre los cultivos de maíz y los factores que influyen en el crecimiento, se procede a investigar sobre la agricultura de precisión, IoT y las

diferentes tecnologías de comunicación y sensores que se podría implementar dentro de nuestro sistema.

Teniendo en cuenta toda la consulta y análisis realizado, se puede identificar cuáles son los instrumentos necesarios para utilizar en monitoreo de las variables como son: radiación solar, dióxido de carbono, nitrógeno y pH del suelo a continuación se mostrará Tabla 8 con el presupuesto invertido.

**Tabla 8.** Presupuesto Invertido del proyecto.

<b>Artículo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio en dólares</b>
<b>Sensor de CO2 MG-811</b>	1	66,00
<b>Sensor UV GUVA-S12SD</b>	2	12,00
<b>Modulo RF NRF24L01</b>	3	10,00
<b>Arduino uno</b>	2	15,00
<b>Modulo ethernet ECN28J60</b>	1	8,00
<b>Sensor de nitrógeno</b>	1	136,50
<b>Sensor de PH del suelo</b>	1	128,60
<b>Paneles solares</b>	3	180,00
<b>Controlador de carga</b>	3	40,00
<b>Cajas metálicas</b>	2	30,00
<b>Caja de plástico</b>	1	15,00
<b>Baterías de 12 V</b>	3	60,00
<b>Estructura para equipos</b>	3	120,00
<b>Router Huawei</b>	1	100,00
<b>TOTAL</b>		<b>920,00</b>

*Nota.* La Tabla 8 muestra el presupuesto de cada uno de los materiales utilizados para la ejecución del proyecto.

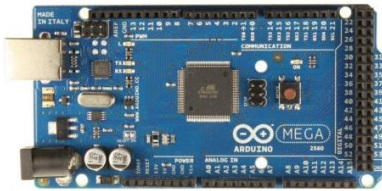
## 5.2. Selección de Equipos

Los dispositivos que se seleccionaron para desarrollar el sistema planteado tomando en cuenta que se va a trabajar con variables como: pH, Nitrógeno, Radiación Solar y Dióxido de Carbono como a su vez el análisis y obtención de los datos se realizará por medio de software libre.

### 5.2.1. Arduino Mega

El Arduino Mega es una placa basada en microcontrolador ATmega 2560 dispone de 54 entradas y salidas digitales, es compatible con la mayoría de las placas de expansión diseñadas para la Arduino uno y sus anteriores modelos, esta placa es ideal para proyectos más grandes, tales como controlar grandes cantidades de sensores en proyectos de domótica, control de robots y control de impresoras 3D (Mega, 2021). Lo utilizaremos para el Gateway, principal el cual me permitiría recoger los datos procesados por el Nodo 1 y el Nodo 2 para luego ser enviados a la plataforma de gestión.

**Tabla 9** Características de Arduino Mega 2560.

<b>Arduino Mega 2560</b>	
	
<b>Características Técnicas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Voltaje de Operación: 7 a 12 V</li><li>• Voltaje de Entrada (limites) 6 - 20 V</li><li>• Pines de entrada Analógica 16</li><li>• Corriente DC 40 mA</li><li>• Corriente CC 3.3 V 50 mA</li><li>• Memoria Flash 256 KB</li><li>• Velocidad del reloj 16 Mhz.</li><li>• EEPROM 4 Kb.</li></ul>


**Nota:** Elaboración propia haciendo referencia del Datasheet del Arduino Mega ubicada en el Anexo 3, se muestra las características del Arduino Mega 2560.

### 5.2.2. Arduino Uno

El Arduino uno es una placa electrónica basada en el chip de Atmel ATmega328 posee 14 pines digitales de entrada/salida, que sirve para facilitar el uso de la electrónica y la programación en proyectos de múltiples áreas. Se fundamenta en el hardware y software libres, lo que permite la manufactura de las placas Arduino, así como el uso y distribución del software por cualquier persona (Baeza & Pomares, 2009). En nuestro proyecto se los utilizara para la recolección de los

datos de cada uno de los sensores como son: pH, Nitrógeno, radiación y CO2, para luego ser transmitido al Gateway.

**Tabla 10.** Características del Arduino Uno.

<b>Arduino Uno</b>	
<b>Características Técnicas</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje de Operación: 5 V</li> <li>• Voltaje de Entrada (recomendado) 7-12 V</li> <li>• Digital pines I/O 14 (de los cuales 6 proporciona salida PWM)</li> <li>• Pines de entrada analógica 6</li> <li>• Corriente DC 40 mA</li> <li>• Memoria Flash 32 de los cuales 0,5 KB utilizado por gestor de arranque</li> <li>• Velocidad del reloj 16 Mhz.</li> <li>• EEPROM 1 KB.</li> </ul>

**Nota:** Elaboración propia haciendo referencia del Datasheet del Arduino Uno ubicada en el Anexo 4, se muestra las características del Arduino Uno.

### 5.2.3. Módulo Nrf24l01 Amplificador y Antena

Los dispositivos Nrf24l01 son módulos de radio frecuencias que operan en la banda de 2,4 GHz, son muy usados por su funcionalidad, bajo consumo y bajo costo, el módulo será usado con Arduino para ellos se usaran las librerías como son la librería de RF24, el principal funcionamiento de los módulos será de conectar cada uno de los nodos con el Gateway principal para transmisión de los datos de cada uno de los sensores.

**Tabla 11.** Características del módulo Nrf24l01.

### Módulo Nrf24l01 Amplificador y Antena





**Características  
Técnicas**

- Características inalámbricas 2,4 GHz
- Alimentación 1,9 V 3,6 V
- Entradas tolerantes a 5 V
- Alcance de transmisión 1000 m en zona abierta
- Consumo de corriente 115 mA
- Velocidad máxima de datos: 2 Mbps

*Nota.* Elaboración propia haciendo referencia del Datasheet del módulo Nrf24101 ubicada en el Anexo 5, se muestra las características del módulo Nrf24101.

#### **5.2.4. Modulo ethernet Arduino Enc 28j60**

El módulo ethernet de Arduino es muy sencillo de utilizar ya que utiliza el protocolo SPI para la utilización con el Arduino se recomienda la utilización de la librería Ethercad. La comunicación que realiza con el Arduino es mediante bus SPI, por lo que dependiendo de la placa a utilizar debemos tomar en cuenta que pines son los adecuados para SPI. La principal función del módulo dentro del proyectos será de realizar la conexión mediante cable de red, entre el router GSM y el sistema de monitoreo.

**Tabla 12.** Características del módulo Ethernet-Arduino Enc28j60.

---

#### **Modulo Ethernet Arduino Enc28j60**

---



**Características  
Técnicas**

- Alimentación: 3.3 V
- Chip Ethernet ENC28J60
- Velocidad: 25 Mhz
- Protocolo: SPI
- Frecuencia de reloj: 25 MHz
- Conector: RJ45
- Temperatura de funcionamiento: -40 a +85 °C.

*Nota.* Elaboración propia haciendo referencia del Datasheet del módulo Ethernet Arduino Enc28j60 ubicada en el Anexo 7, se muestra las características del módulo Ethernet Arduino Enc28j60.

### **5.2.5. MG811-CO2 Sensor de Dióxido de Carbono**

El sensor MG811, está diseñado para capturar el CO<sub>2</sub> en el ambiente, el módulo tiene una salida digital a través de un comparador con umbral ajustable y una salida analógica que la puede medir cualquier microcontrolador o tarjeta de desarrollo, para poder detectar el CO<sub>2</sub> del ambiente el sensor se calienta, el voltaje incrementa hasta que se nivela, ya que el sensor este caliente, estará listo para detectar el CO<sub>2</sub>. Su principal función será de detectar el dióxido de carbono, de las plantaciones de maíz y poder relacionarlo para ver si es el óptimo para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

**Tabla 13.** Características del sensor de dióxido de carbono.

---

### **MG811 CO<sub>2</sub> Sensor de Dióxido de Carbono**

---



**Características  
Técnicas**

- Voltaje de Operación: 5 V
- Salida digital DO (comparador)
- Salida analógica AO (amplificador)
- Potenciómetro para ajustar amplificación
- Potenciómetro para ajuste de comparador
- Rango de detección: 350 – 10.000 ppm.
- Consumo 140 ± 20 mA.
- Temperatura de funcionamiento: -20 a 50 °C.

*Nota.* Elaboración propia haciendo referencia del Datasheet del sensor MG811 CO2 ubicada en el Anexo 8, se muestra las características del sensor MG811 CO2.

**5.2.6. GUVVA-S12SD Sensor de Luz Ultravioleta**

El sensor GUVVA S12SD basado en un fotodiodo Uv, que puede detectar un rango 240-370 nm de la luz la salida de la señal esta acondicionada para que quede en un nivel de voltios para poderla usar con microcontrolador, su función principal será de divisar la incidencia de rayos Uv para los cultivos de maíz.

**Tabla 14.** Características de sensor de Luz ultravioleta.

<b>GUVA-S12SD Sensor de Luz Ultravioleta</b>	
<b>Características Técnicas</b>	Voltaje de Operación: 5 V Longitud de onda captada: 240-370 nm Índice Uv de 0 a 10 Consumo 5 mA. Temperatura de funcionamiento: -30 a 85 °C

*Nota.* Elaboración propia haciendo referencia del Datasheet del sensor GUVVA-S12SD ubicada en el Anexo 9, se muestra las características del sensor GUVVA-S12SD.

### 5.2.7. Taidacent RS485 Sensor de Nitrógeno del Suelo

El sensor de nitrógeno de la familia Taidacent es un sensor portátil, de alta precisión, de respuesta rápida y de bajo costo es adecuado para detectar el contenido de nitrógeno del suelo, el cual permitiera determinar cuánto contenido adicional de nutrientes se debe agregar al suelo para aumentar la fertilidad de los cultivos. La ventaja de este sensor sobre un método de detección tradicional es que brinda una medición muy rápida y los datos son muy precisos.

**Tabla 15.** Características de sensor de Nitrógeno de suelo.

---

#### Taidacent RS485 Sensor de Nitrógeno del Suelo

---



---

<b>Características Técnicas</b>	Voltaje de Operación: 5 V – 30 V
	Protección: IP68
	Rango de detección: 1-1999 mg/kg (mg/L).
	Señal de salida: RS485
	Tasa de baudios: 2400/4800/9600
	Temperatura de funcionamiento: -30 a 55 °C

---

**Nota.** Elaboración propia haciendo referencia del Datasheet del sensor NPK ubicada en el Anexo 10, se muestra las características del sensor de nitrógeno.

### 5.2.8. Sensor de pH del Suelo

El sensor pH es fácil de operar posee una alta precisión y respuesta rápida, proporcionando datos de lecturas rápidos, precisos y fiables, los valores de pH del suelo pueden llegar a obtenerse en un rango de 3-9 pH, con una alta precisión de hasta  $\pm 0,3$  pH, El sensor tiene una carcasa IP68 y está sellado con resina epoxi de alta densidad, que puede evitar que la humedad ingrese al interior del cuerpo. El sensor me permitiera medir los niveles de pH de los terrenos de la asociación agropecuaria “Guacacoha” y poder verificar si los suelos son los óptimos para el cultivo de maíz.

**Tabla 16.** Características del sensor de pH del suelo.

<b>Sensor de pH del Suelo</b>	
	
<b>Características Técnicas</b>	Voltaje de Operación: 5 V – 30 V
	Protección: IP68
	Rango de detección: 3-9 pH
	Precisión de medición: $\pm 0.3$ pH
	Señal de salida: RS485
	Tasa de baudios: 2400/4800/9600
	Temperatura de funcionamiento: -30 a 70 °C

**Nota.** Los datos técnicos del sensor de pH del suelo fueron tomadas de la página de donde adquirimos el sensor: [https://www.alibaba.com/product-detail/Online-Monitoring-RS485-4-20mA-0\\_62546632822.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Online-Monitoring-RS485-4-20mA-0_62546632822.html).

### 5.2.9. Huawei B612s – 51d

El router Huawei B612s es una nueva puerta de enlace inalámbrica 4G LTE que integra LTE, el router tiene la capacidad de conectar hasta 32 dispositivos habilitados para WI-FI sin sacrificar la calidad o la velocidad de la conexión, el router proporcionara la entrega de internet al sistema a través de la operadora de Tuenti mediante datos móviles.

**Tabla 17** Características del Router Huawei.

<b>Router 4G LTE Huawei B612s-51d Cat6 300Mbs</b>


**Características  
Técnicas**

- Voltaje de Operación: 12 V – 15 V
- Tecnología Wireless
- Marca Wi-Fi World
- Estándar de comunicación 802.11a/b/g/n
- Numero de puertos 4
- Router CPE 4G LTE Cat 6 300 Mbs
- Un puerto LAN/WAN (RJ45), un puerto de teléfono (RJ11).

---

*Nota.* Elaboración propia haciendo referencia del Datasheet de router ubicada en el Anexo 11, se muestra las características del router GSM.

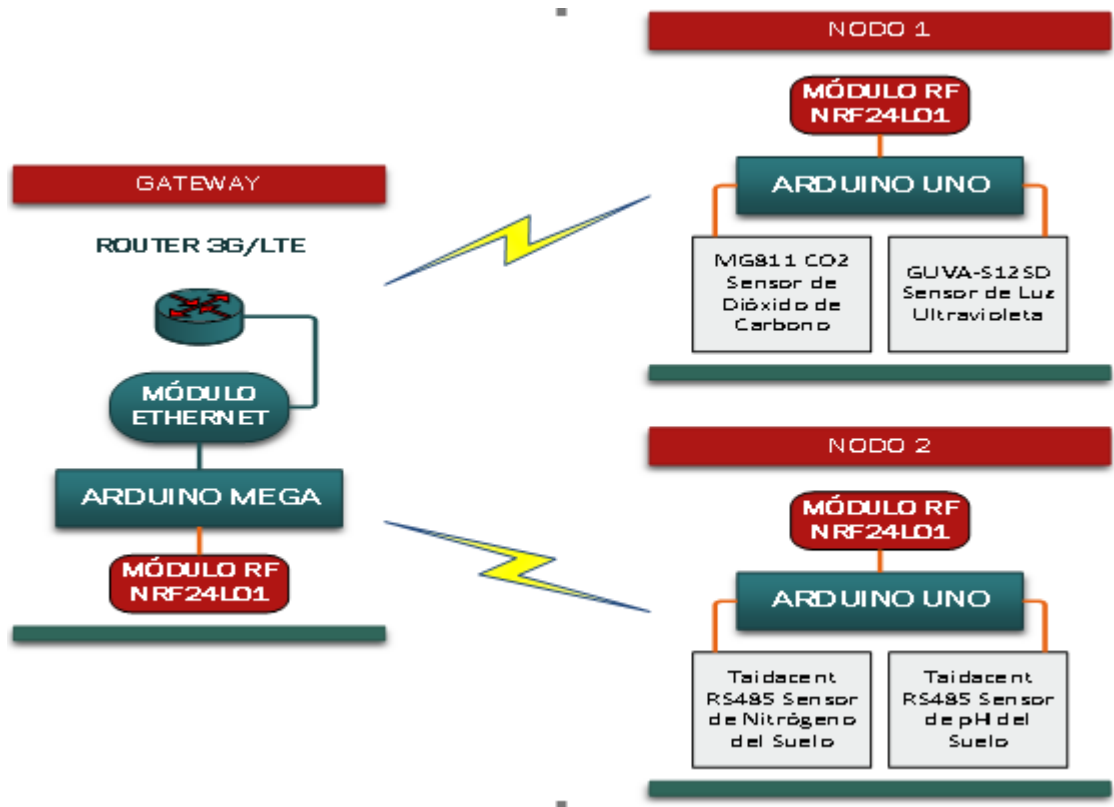
### **5.3. Diseño**

#### **5.3.1. Descripción del Sistema de Monitoreo**

El sistema de monitoreo de cultivo de maíz para la asociación Agropecuaria Guacacocha está conformado por una red de sensores, que se compone de dos nodos transmisores y un nodo que será usado como Gateway. Esta red utiliza topología estrella en donde el Router Gateway se enlaza tanto con el nodo 1 como el nodo 2. Los nodos 1 y 2 se encargan de la adquisición de los datos de las variables como es: Nitrógeno, pH, Radiación Solar y CO<sub>2</sub>, estas variables son enviadas al nodo Gateway a través de los módulos de radio frecuencia que son módulos que se comunican de forma inalámbrica y operan en la banda libre de 2,4 GHz.

Los datos almacenados son analizados y se visualizan en una interfaz web a través de graficas en donde se van a mostrar el comportamiento de las variables consideradas, durante el día, las muestras tomadas se realizarán en intervalos de cada 5 minutos, donde se podrán observar los máximos, y mínimos promedios, esto se realiza en tiempo real los datos obtenidos se podrán visualizar por los miembros de la asociación y podrán acceder desde cualquier lugar. En la Figura 11 se observa el esquema del sistema de monitoreo propuesto.

Figura 11. Esquema del sistema de monitoreo.



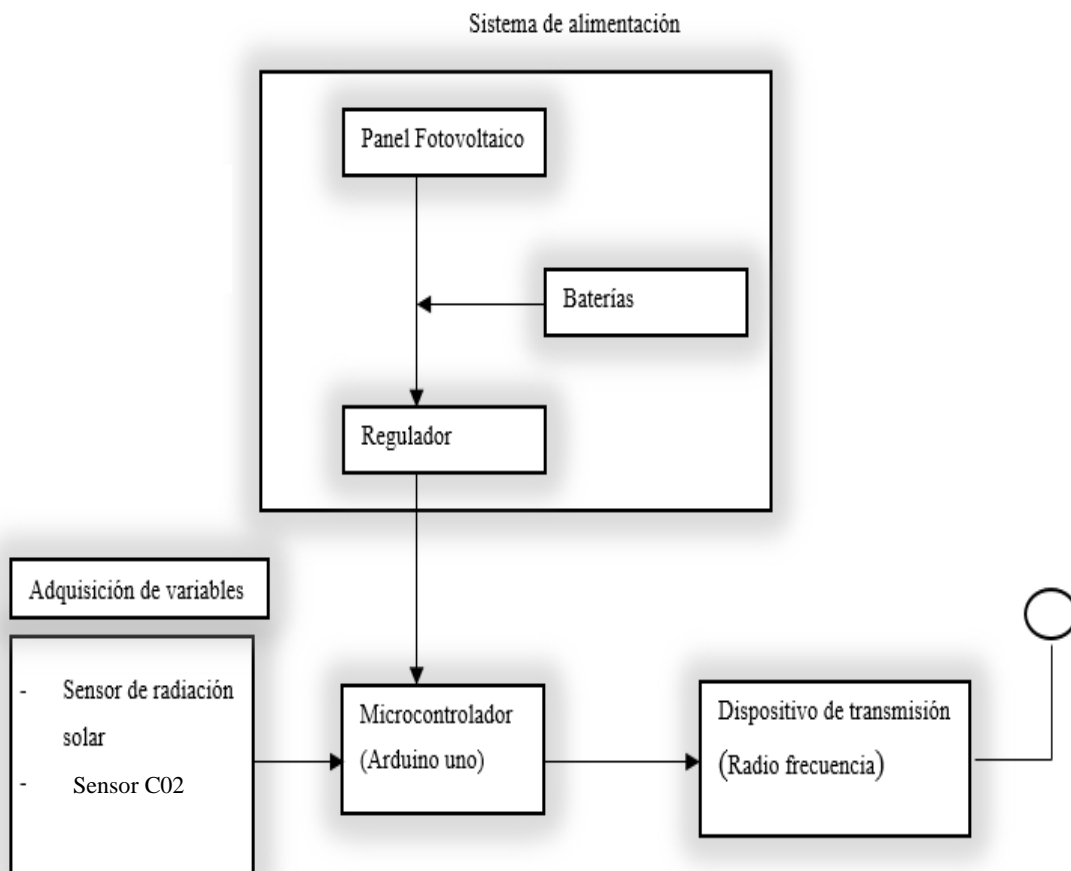
*Nota.* El gráfico representa el diseño de cada uno de los nodos a implementar.

### 5.3.2. Descripción de los Nodos de monitoreo

El nodo 1 y 2 se encargan de la adquisición de los datos y están compuestos por los sensores de dióxido de carbono, Radiación solar, nitrógeno y pH del suelo. Los nodos se encargan de recolectar la información de las variables que se han propuesto. También tienen un microcontrolador (Arduino Uno) que adquiere la información mediante sus entradas analógicas y digitales. Adicionalmente este dispositivo proporciona alimentación a los sensores y al módulo de Radio frecuencia.

Para enviar los datos de las tramas desde el nodo 1 y 2 hacia el nodo Gateway se utilizó el dispositivo de radio frecuencia Nrf24101 el cual tiene el alcance hasta de 1000 metros en línea de vista. Cada nodo funciona con una fuente de alimentación compuesta por un banco de baterías y por un panel.

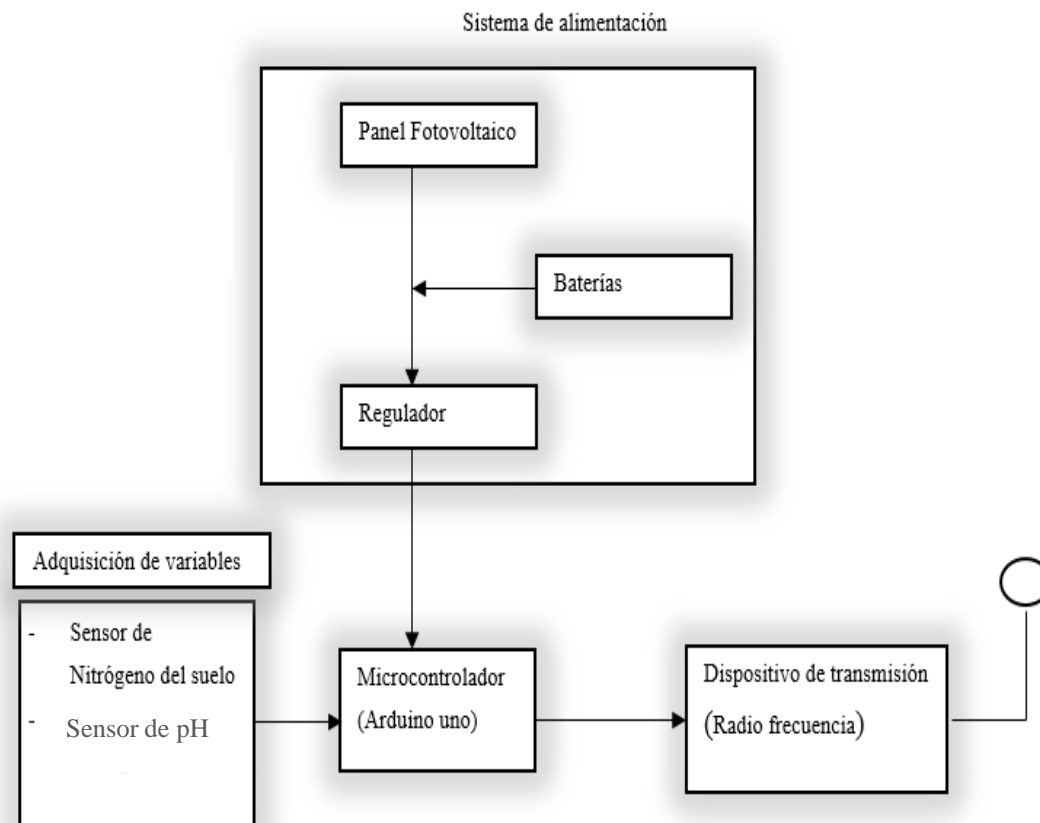
**Figura 12. Esquema del nodo uno.**



**Nota.** Componentes que se ocuparán para el funcionamiento del nodo uno.



**Figura 13. Esquema del Nodo dos.**



*Nota.* Componentes que se ocupara, para el funcionamiento del nodo dos.

### 5.3.3. Diagramas de Flujo y Conexión del Sistema a Implementar

#### 5.3.3.1. Gateway Principal

El diagrama del Gateway Principal consiste de la conexión del módulo Ethernet y el módulo de radiofrecuencia Nrf24101 junto con un módulo regulador de voltaje para minimizar el ruido por voltajes EMF en los circuitos de radiofrecuencia.

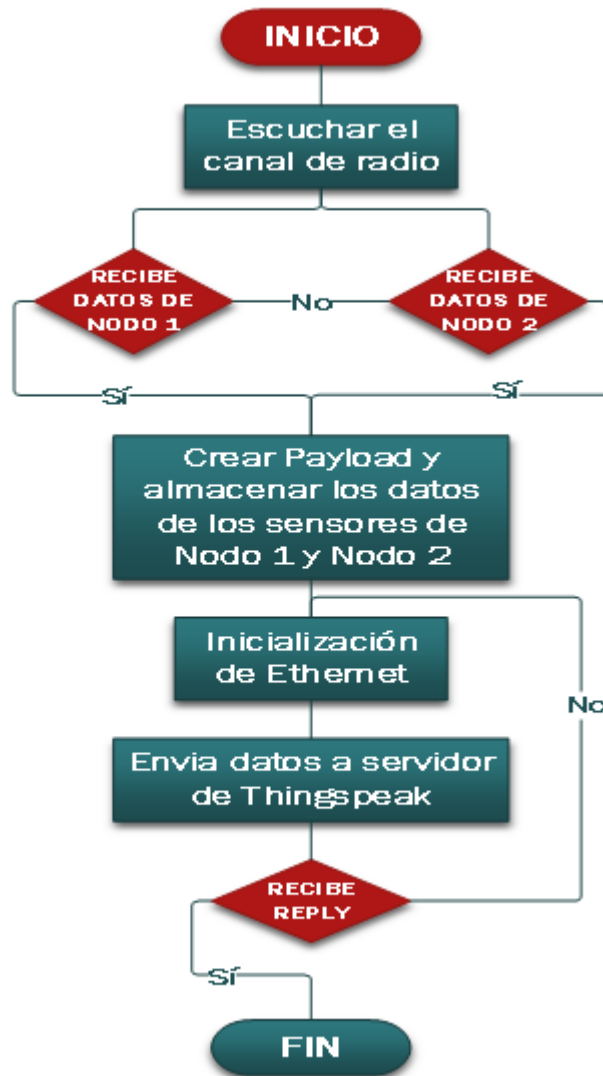
En la Figura 14 se representa el diagrama de flujo donde representamos los procesos y los pasos lógicos del nodo Gateway.

**Tabla 18.** Componentes del Nodo Principal.

<b>Componentes de Gateway</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Arduino Mega 2650</b>	1
<b>Modulo Ethernet enc28j60</b>	1
<b>Módulo de RF Nrf24l01+ PA/LNA</b>	1
<b>Módulo Regulador de Voltaje</b>	1
<b>Router 4G, LTE Huawei B612s</b>	1

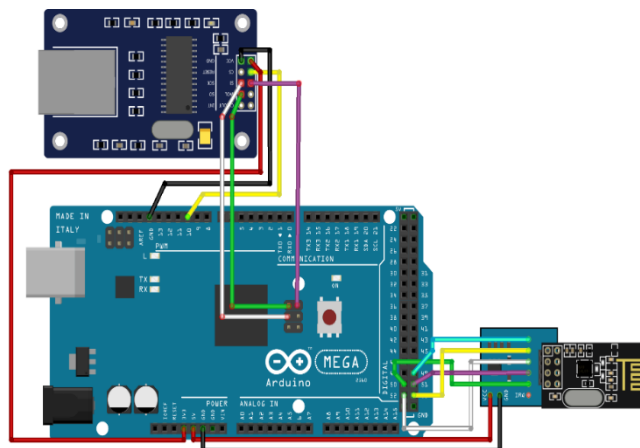
*Nota.* Esta tabla muestra los componentes a utilizar para el nodo Gateway.

Figura 14. Diagrama de Flujo del nodo Gateway.



*Nota.* El gráfico representa el diagrama de flujo del nodo Gateway, en donde nos representa la esquematización grafica del algoritmo, el cual muestra gráficamente los pasos a seguir para alcanzar la solución.

**Figura 15.** Esquema de conexión del nodo Gateway.



*Nota.* El gráfico representa las conexiones de cada uno de los componentes, que conforma el nodo Gateway con el Arduino Mega.

### 5.3.3.2.Nodo 1

El diagrama del nodo 1 representa la conexión del Arduino uno junto con un módulo de RF Nrf24l01+, así también como con el sensor de radiación solar y el sensor de CO2.

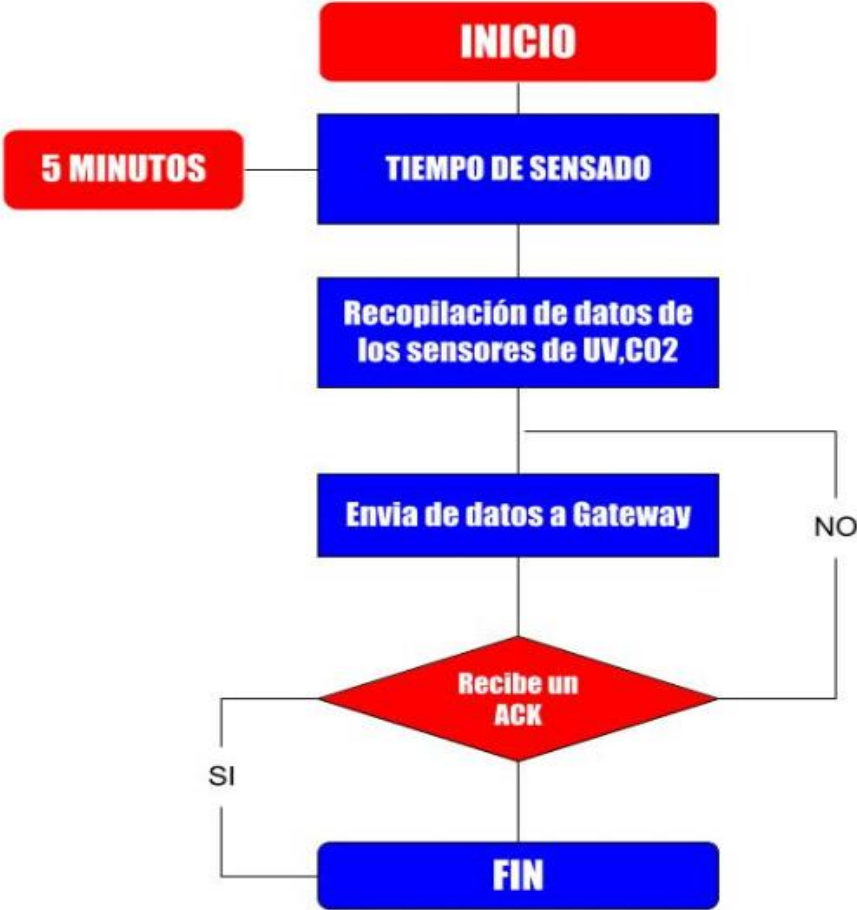
El la Figura 16 representa el diagrama de flujo donde representamos los procesos y los pasos lógicos del nodo 1.

**Tabla 19.** Componentes del nodo 1.

Componentes de Gateway	Cantidad
Arduino UNO	1
Módulo de RF Nrf24l01+ PA/LNA	1
Módulo Regulador de Voltaje	1
Sensor UV GUVA-S12SD	1
Sensor CO2 MG-811	1
Fuente de voltaje regulable de 12 a 6 V	1

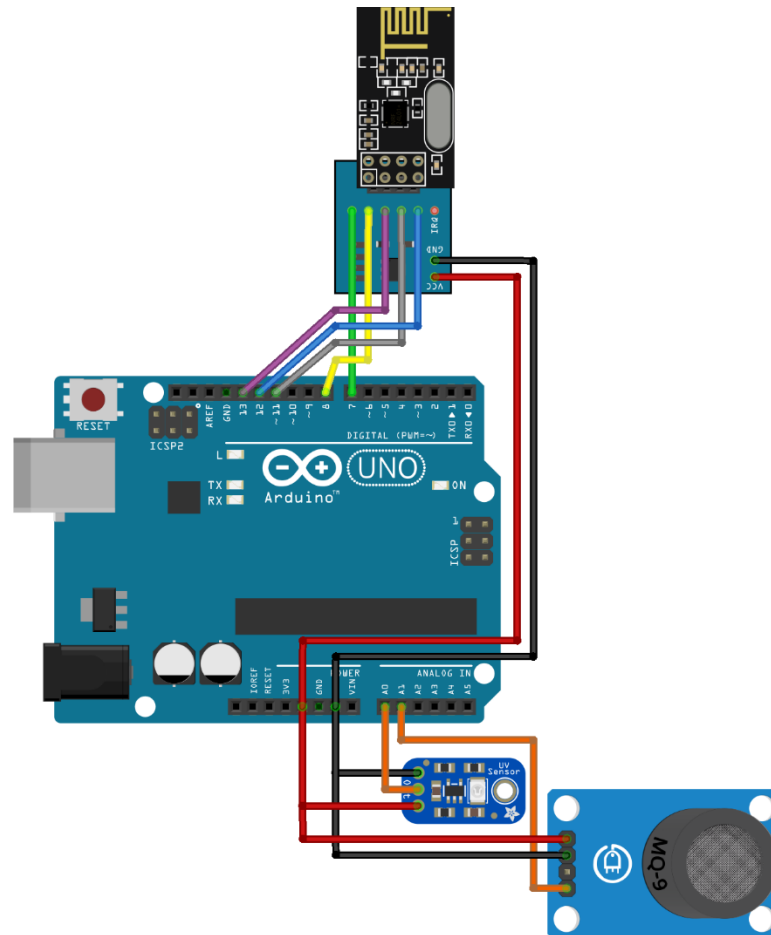
*Nota.* Esta tabla muestra los componentes a utilizar para el nodo uno.

Figura 16. Diagrama de flujo del Nodo 1.



*Nota.* Diagrama de flujo del nodo uno, en donde nos representa la esquematización gráfica del algoritmo, el cual muestra gráficamente los pasos a seguir para alcanzar la solución.

**Figura 17.** Esquema de conexión del nodo 1.



**Nota.** Esquema de las conexiones de cada uno de los componentes que conforma el nodo uno, con el Arduino uno.

### 5.3.3.3.Nodo 2

El diagrama del nodo 2 representa la conexión del Arduino uno junto con el módulo de RF Nrf24101+, así también los sensores de nitrógeno y pH con su respectivo modulo convertidor de RS485 TTL esto con la finalidad de operar estos sensores mediante las entradas lógicas del Arduino.

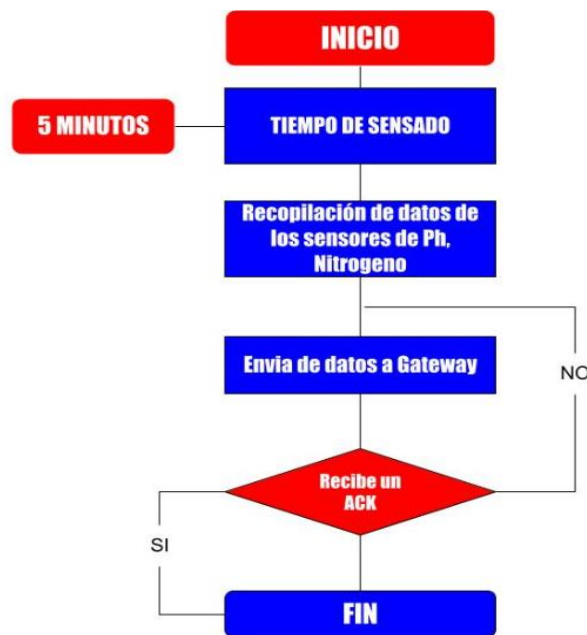
El la Figura 18 representa el diagrama de flujo donde representamos los procesos y los pasos lógicos del Nodo 2.

**Tabla 20.** Componentes del nodo 2.

Componentes del nodo 2	Cantidad
Arduino Uno	1
Módulo de Nrf24l01+ PA/LNA	1
Módulo Regulador de Voltaje	1
Módulo RS485 - TTL	2
Sensor de Nitrógeno	1
Sensor de pH	1

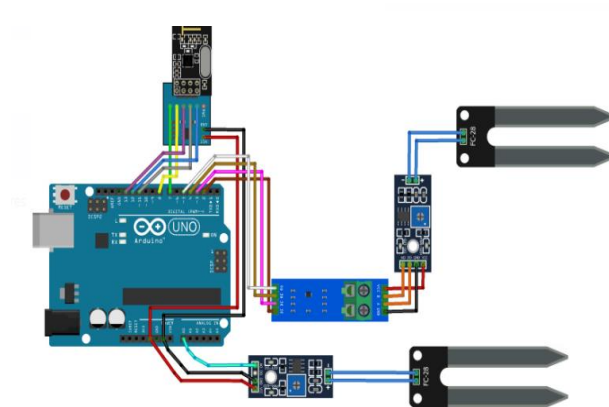
*Nota.* Esta tabla muestra los componentes a utilizar para el Nodo dos.

**Figura 18.** Diagrama de flujo del Nodo 2.



*Nota.* Diagrama de flujo del nodo dos, en donde nos representa la esquematización gráfica del algoritmo, el cual muestra gráficamente los pasos a seguir para alcanzar la solución.

**Figura 19.** Esquema de conexión del Nodo 2.



**Nota.** Conexiones de cada uno de los componentes que conforma el nodo dos, con el Arduino uno.

#### **5.3.3.4. Diseño del Sistema de Comunicación**

En este apartado se tiene como objetivo mostrar los diferentes componentes electrónicos presentes en el prototipo hardware y software del sistema, el microcontrolador encargado de gobernar el sistema y los protocolos de comunicación de cada uno de los sensores, así como también el esquemático del nodo de adquisición y comunicación IoT que se integra de manera conjunta para gestionar la red de sensores inalámbrica, en este proyecto se usaron varias herramientas de software: lenguaje de programación y lenguaje de diseño.

#### **5.3.3.5. Características del módulo Nrf24l01**

El módulo transceptor Nrf24l01 está diseñado para funcionar en la banda de frecuencia ISM mundial de 2,4 GHz y utiliza la modulación GFSK. para la transmisión de datos. La velocidad de transferencia de datos puede ser de 250 Kbps, 1 Mbps y 2 Mbps.

#### **5.3.3.6. Consumo de Energía del Módulo NRF24L01**

El voltaje de funcionamiento del módulo es de 1,9 a 3,6 V, pero los pines lógicos son tolerantes a 5 V porque podemos conectarlo fácilmente a un Arduino o cualquier microcontrolador lógico de 5 V sin usar ningún convertidor de nivel lógico. El módulo admite potencia de salida programable, de 0 dBm, -6 dBm, -12 dBm, 0,18 dBm y consume alrededor de 12 mA durante la transmisión a 0 dBm, que es incluso más bajo que un solo Led y lo mejor de todo, consume 26  $\mu$ A en modo de espera y 900 nA en modo apagado. Es por eso que son el dispositivo inalámbrico de referencia para aplicaciones de bajo consumo.



### 5.3.3.7. Las Características del Enlace son las Siguietes

- Tasa de datos en el aire: puede ser configurado como 250 kbps, 1 Mbps o 2 Mbps, utilizar bajas tasas de datos puede dar mejor rendimiento de sensibilidad sin embargo las tasas de datos altas garantizan menor consumo de corriente y reducen la probabilidad de colisiones en el aire.
- Canal: cuando se utiliza tasas de datos de 250 kbps y 1 Mbps los módulos utilizan canales de 1 MHz de ancho de banda mientras que a 2 Mbps de tasa de datos los canales son de 2 MHz de ancho de banda.
- Frecuencia: el rango de frecuencia de operación se encuentra entre los 2.400 y 2.525 MHz y la frecuencia de operación del enlace se da de acuerdo a la siguiente formula.

$$F_o = 2400 + RF_{CH} [MHz] \quad (1)$$

- PA control: (amplificador de potencia) se utiliza para configurar la potencia del amplificador de potencia Nrf24l01+ en modo TX el control PA tiene cuatro modos programables.

**Tabla 21.** Relación de consumo de corriente DC con la potencia de salida de módulo de radio frecuencia.

Potencia de salida de RF	Consumo de corriente DC
0 dBm	<b>11,3 mA</b>
-6 dBm	<b>9,0 mA</b>
-12 dBm	<b>7,5 mA</b>
-18 dBm	<b>7,0 mA</b>

**Nota.** Esta tabla muestra la potencia de salida de nuestro transmisor, en relación con el consumo de corriente en DC.

Condiciones: VDD=3.0 V, VSS=0 V, TA=27 °C, Impedancia de Carga=15Ω+j88Ω

- Dirección PIPE: configurado como PRX (receptor principal) el Gateway puede recibir datos dirigidos a seis conductos de datos diferentes en un canal de frecuencias, cada conducto de datos diferentes en un canal de frecuencias, cada conducto de datos tiene su propia dirección única y se puede configurar para un comportamiento individual.

Bajo estas características del enlace se procede a seleccionar los parámetros adecuados conforme a nuestra implementación:

**Tabla 22.** Características del radio enlace a utilizar.

<b>Tasa de datos de aire</b>		1 Mbps
<b>Canal</b>		100
<b>Frecuencia del enlace</b>		2500 MHz
<b>PA Control</b>		0 dBm
<b>Dirección PIPE</b>	Nodo 1	0xF0F0F0F0AA
	Nodo 2	0xF0F0F0F066

*Nota.* Esta tabla muestra las características técnicas a utilizar para el radio enlace a ser implementado.

#### **5.3.3.8. Programación de enlace RF entre el Gateway y los nodos**

Para establecer el enlace de radiofrecuencia entre los 3 módulos Nrf24l01 se comenzó verificando la comunicación entre cada módulo y Arduino correspondiente a nodos y Gateway, mediante el código a continuación se pretende imprimir los detalles de radio correspondientes que demuestren la conexión entre el Arduino con el módulo de radiofrecuencia.

**Figura 20.** Código para la comunicación entre nodos y Gateway.

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <printf.h>
#define CE_PIN 7
#define CSN_PIN 8

const uint64_t direccion = 0xF0F0F0AA;

RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  printf_begin();

  radio.begin();

  radio.openReadingPipe(1, direccion);

  radio.setDataRate( RF24_1MBPS );

  radio.setChannel(100);

  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);

  radio.printDetails();

}
```

*Nota.* El gráfico representa la programación que será cargada al Arduino mega para la comunicación entre los nodos y el Gateway.

La Figura 20 representa la programación de la comunicación de los nodos 1 y 2 con el Gateway y como a su vez los pines designados, para la comunicación entre el Arduino y el módulo de radio frecuencia.

**RF\_CH = 0x64** //El mismo que es la representación hexadecimal del número 100 siendo que el canal escogido está en la frecuencia de 2500 MHz.

**Data Rate = 1MBPS** // La tasa de transferencia de datos se configura a 1 MBPS.

**PA Power = PA\_MIN** // Corresponde a la potencia del módulo, establecida para pruebas a un valor mínimo.

**Figura 21.** Resultados del programa “verificar conexión”.

```
STATUS          = 0x0e RX_DR=0 TX_DS=0 MAX_RT=0 RX_P_NO=7 TX_FULL=0
RX_ADDR_P0-1    = 0xe7e7e7e7e7 0xf0f0f0f0aa
RX_ADDR_P2-5    = 0xc3 0xc4 0xc5 0xc6
TX_ADDR         = 0xe7e7e7e7e7
RX_PW_P0-6      = 0x00 0x20 0x00 0x00 0x00 0x00
EN_AA           = 0x3f
EN_RXADDR       = 0x03
RF_CH           = 0x64
RF_SETUP        = 0x01
CONFIG          = 0x0e
DYNPD/FEATURE   = 0x00 0x00
Data Rate       = 1MBPS
Model           = nRF24L01+
CRC Length      = 16 bits
PA Power        = PA_MIN
```

*Nota.* El gráfico representa, los resultados arrojados en la ventana de monitor serie del software Arduino, cuando existe comunicación del módulo de radio frecuencia.

Para ejemplificar el escenario en donde no existe comunicación entre el módulo de radiofrecuencia y el Arduino se desconectaron los cables de CE Y CSN, obteniendo el resultado que se observa en la Figura 22.

De donde se observa que la mayoría de direcciones corresponden a números hexadecimales tipo 0x00 o 0xFF.

**Figura 22.** Módulo NRF24L01+ sin comunicación con Arduino.

```
STATUS          = 0x00 RX_DR=0 TX_DS=0 MAX_RT=0 RX_P_NO=0 TX_FULL=0
RX_ADDR_P0-1    = 0x0000000000 0xfffffffffff
RX_ADDR_P2-5    = 0xff 0x00 0x00 0xff
TX_ADDR         = 0xfffffffffff
RX_PW_P0-6      = 0x00 0xff 0x00 0x00 0xff 0x00
EN_AA           = 0x00
EN_RXADDR       = 0x00
RF_CH           = 0x00
RF_SETUP        = 0x00
CONFIG          = 0x00
DYNPD/FEATURE   = 0xff 0x00
Data Rate       = 1MBPS
Model           = nRF24L01
CRC Length      = Disabled
PA Power        = PA_MAX
```

*Nota.* Los resultados arrojados en la ventana de monitor serie del software Arduino, cuando no existe comunicación del módulo de radio frecuencia.

Una vez se comprueba la comunicación entre módulos de RF y el Arduino se procede a establecer el enlace entre dos nodos transmisores y un Gateway receptor en base a los parámetros que se indican en la Tabla 23 a continuación.

**Tabla 23.** Parámetros de enlace.

<b>Parámetros del enlace</b>		
<b>Pipe Address</b>	Nodo 1 TX – Gateway RX	0xF0F0F0F0AA
	Nodo 2 TX – Gateway RX	0xF0F0F0F066
<b>RF_CH</b>	Canal de operación	0x64 = 100
<b>Data Rate</b>	Tasa de datos	1 Mbps
<b>Freq</b>	Frecuencia del enlace	2500 MHz
<b>PA Power</b>	Potencia de transmisión	PA_MIN = -6 dBm

**Nota:** Se selecciona la potencia mínima del módulo de RF para establecer escenarios de prueba y configuración entre nodos y Gateway; ya que al estar muy cerca estos se interfieren entre si ocasionando fallos en la transmisión y recepción de información.

Para establecer la comunicación entre los nodos y el gateway se desarrolló dos códigos, uno para transmisores y otro para receptor.

### 5.3.3.9. Código Programa: “Transmisor NRF24L01+”

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

const uint64_t pipe1 = 0xF0F0F0F0AA;

#define CE_PIN 7
#define CSN_PIN 8

RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);

struct sensor
```

```

{
  int Uv;
  word co2;
  byte sensorNum;
};
sensor a_data;

int conta=0;
unsigned long currentMillis;
unsigned long prevMillis;
unsigned long txIntervalMillis = 1000;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("TX1 Start");
  radio.begin();
  radio.setRetries(3,5);
  radio.openWritingPipe(pipe1);
  radio.setDataRate(RF24_1MBPS);
  radio.setChannel(100);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
  a_data.sensorNum = 1;
}

void loop() {
  tempo();
  if (conta == 300){
    sensores();
    send();
  }
}

void send() {
  bool rslt;
  rslt = radio.write( &a_data, sizeof(a_data) );
  if (rslt) {
    Serial.println(" ACK recibido");
    Serial.println("Datos Nodo1 enviados: ");
    Serial.println(a_data.co2);
    Serial.println(a_data.Uv);
    conta=0;
  }
  else {
    Serial.println(" Fallo TX");
    conta=299;
  }
}

void sensores(){
  a_data.co2 = random(350,10000);
  a_data.Uv= random(0,10);
  delay(100);
}

void tempo(){
  currentMillis = millis();
  if (currentMillis - prevMillis >= txIntervalMillis) {
    prevMillis = millis();
    conta++;
  }
}
}

```

El código de transmisor Nrf24l01+ utiliza una estructura de variables para almacenar los valores de los sensores que tiene cada nodo, a su vez usando la función millis cuenta 300 segundos equivalentes a 5 minutos que es cuando se recoge los datos de los sensores y se envían hacia el gateway, si se recibe el ACK por parte del gateway se imprime en monitor serial los valores enviados y el código se vuelve a ejecutar desde el inicio caso contrario se vuelve a enviar hasta recibir exitosamente un ACK de parte del gateway.

### 5.3.3.10. Código Programa: “Receptor Nrf24l01

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
RF24 radio(48, 53);
const uint64_t pipe1 = 0xF0F0F0F0AA;
const uint64_t pipe2 = 0xF0F0F0F066;

int ackData[2] = {0,0};
bool newData = false;

struct sensor1
{
  int Uv;
  word co2;
  byte sensorNum;
};
sensor1 sensorData1;

struct sensor2
{
  int pH;
  word npk;
  byte sensorNum;
};
sensor2 sensorData2;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  radio.begin();
  radio.openReadingPipe(1, pipe1);
  radio.openReadingPipe(2, pipe2);
  radio.setDataRate(RF24_1MBPS );
  radio.setChannel(100);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
  radio.startListening();
}

void loop()
{
  byte pipe_num = 0;
```



```

#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

RF24 radio(48, 53);

const uint64_t pipe1 = 0xF0F0F0F0AA;
const uint64_t pipe2 = 0xF0F0F0F066;

int ackData[2] = {0,0};
bool newData = false;

struct sensor1
{
  int Uv;
  word co2;
  byte sensorNum;
};
sensor1 sensorData1;

struct sensor2
{
  int pH;
  word npk;
  byte sensorNum;
};
sensor2 sensorData2;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  radio.begin();
  radio.openReadingPipe(1, pipe1);
  radio.openReadingPipe(2, pipe2);
  radio.setDataRate(RF24_1MBPS );
  radio.setChannel(100);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
  radio.startListening();
}

void loop()
{
  byte pipe_num = 0;

  if(radio.available(&pipe_num))
  {
    if (pipe_num == 1) {
      radio.read(&sensorData1, sizeof(sensorData1));
    } else {
      radio.read(&sensorData2, sizeof(sensorData2));
    }
    radio.writeAckPayload(pipe_num, ackData, sizeof(ackData));
    newData = true;
    Serial.print(F("Pipe = "));
    Serial.println(pipe_num);

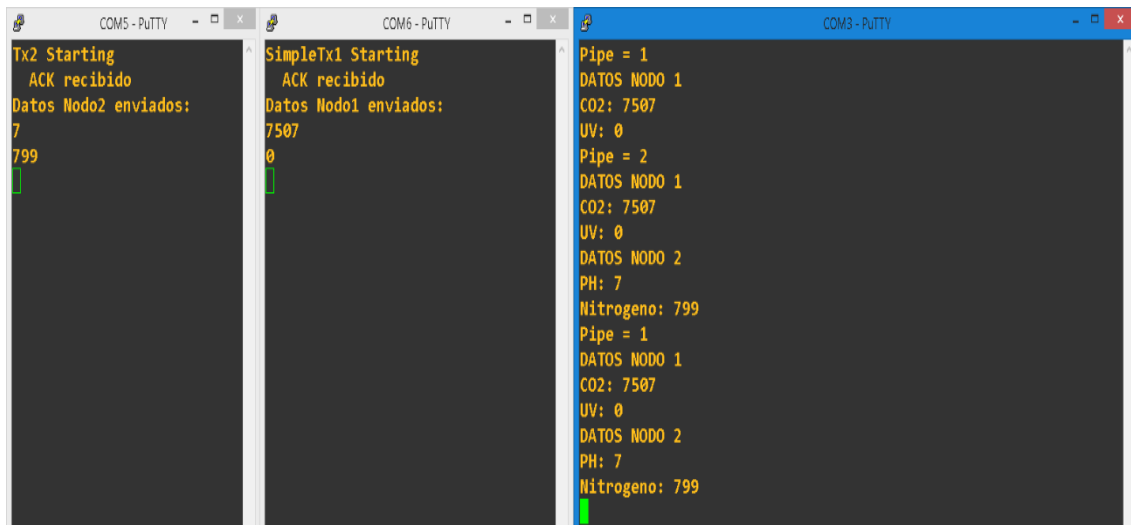
    if(newData==true){
      disp_sensor_data();
    }
  }
}

```

El código “Receptor Nrf24l01” establece las direcciones de PIPE para la comunicación entre Nodo1 – Gateway y Nodo2 – Gateway, seguidamente declara las variables correspondientes para almacenar los datos provenientes de los sensores de Nodo 1 y Nodo 2 a través de dos estructuras, dentro de bucle se encarga de estar escuchando si algún dato de RF llega y una vez recibido busca la dirección PIPE de donde vino el dato para almacenar e imprimir correctamente la información y a su vez enviar el acuse de recibo al nodo correspondiente.

El resultado del código se puede apreciar en la siguiente Figura 23, con la ayuda del software PuTTY que es un emulador de terminal gratuito, se puede observar que una vez los nodos envían los datos correspondientes de los sensores, el Gateway se encarga de almacenar esos datos y mostrarlos, estableciendo satisfactoriamente el envío de datos como su a vez el enlace comunicación entre el Gateway y los nodos.

**Figura 23.** Resultados de transmisión de datos entre los nodos y Gateway.



```
COM5 - PuTTY
Tx2 Starting
ACK recibido
Datos Nodo2 enviados:
7
799
]

COM6 - PuTTY
SimpleTx1 Starting
ACK recibido
Datos Nodo1 enviados:
7507
0
]

COM3 - PuTTY
Pipe = 1
DATOS NODO 1
CO2: 7507
UV: 0
Pipe = 2
DATOS NODO 1
CO2: 7507
UV: 0
DATOS NODO 2
PH: 7
Nitrogeno: 799
Pipe = 1
DATOS NODO 1
CO2: 7507
UV: 0
DATOS NODO 2
PH: 7
Nitrogeno: 799
```

**Nota.** El gráfico representa los resultados de la transmisión entre el nodo 1- Gateway y el nodo 2- Gateway, mediante el terminal de consola del software PuTTY.

Una vez se comprueba el radioenlace entre los nodos y el Gateway se procede a añadir el módulo Ethernet e implementar escenarios de pruebas subiendo los datos hacia la plataforma Thingspeak.

### 5.3.3.11. Sincronización de Gateway con la plataforma Thingspeak

Para habilitar la actualización de datos de los nodos en la plataforma Thingspeak, era necesario registrar una cuenta dentro de la plataforma y añadir un nuevo canal. Es necesario recalcar que la plataforma Thingspeak está disponible como servicio gratuito para pequeños proyectos no comerciales (< 3 millones de mensajes/año o 8200 mensajes/día). Para proyectos más grandes o aplicaciones comerciales, se ofrecen cuatro tipos de licencias anuales diferentes: Estándar, Académica, Estudiante y Hogar.

La plataforma de análisis de datos para IoT, Thingspeak procesa los datos mediante unidades, donde una unidad permite procesar y almacenar 33 millones de mensajes en un período de un año (~90.000 mensajes/día). Una unidad también brinda la capacidad de crear una cantidad fija de canales en Thingspeak.

En nuestro caso se utilizó los parámetros de la Tabla 24 para determinar la cantidad de mensajes por día que serán enviados a la plataforma de Thingspeak.

**Tabla 24.** Parámetros para canal Thingspeak.

# De Mensajes	4
Tiempo de actualización	5 mins

**Nota.** Esta tabla muestra los parámetros que serán utilizados para la configuración del canal en la plataforma Thingspeak.

Bajo estos parámetros primero se obtiene el número de actualizaciones totales en la plataforma por día:

$$\# \text{ de actualizaciones/día} = \frac{24 \text{ Horas}}{\text{Tiempo de actualización}} \quad (7)$$

$$\# \text{ de actualizaciones/día} = \frac{24 \text{ Horas} * \frac{60 \text{ mins}}{1 \text{ Hora}}}{5 \text{ min}}$$

$$\# \text{ de actualizaciones/día} = \frac{1440 \text{ mins}}{5 \text{ mins}} = 288$$

Para finalmente determinar el total de mensajes por día que consumirá la sincronización del sistema con la plataforma:

$$Msgs/día = \# \text{ de Mensajes} * \# \text{ de Actualizaciones/día} \quad (8)$$

$$Msgs/día = 4 \text{ Msgs} * 288 = 1152 \text{ Msgs}$$

Y el número de mensajes por año a consumir en la plataforma será de:

$$Msgs/año = \frac{Msgs}{día} * 365 \text{ días}$$

$$Msgs/año = 1152 \frac{Msgs}{día} * 365 \text{ días}$$

$$Msgs/año = 420480 \text{ Msgs}$$

Esto nos otorga un resultado favorable para el uso de la licencia gratuita que ofrece la plataforma Thingspeak.

**Figura 24.** Registro e integración de cuenta Mathworks con la Plataforma Thingspeak.



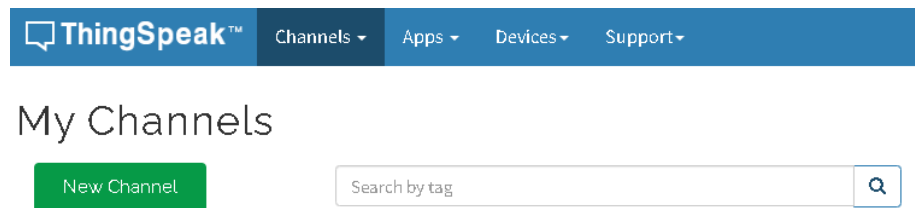
**Nota.** El gráfico representa el mensaje, que la cuenta se ha creado satisfactoriamente en la plataforma Thingspeak.

Una vez creada la cuenta de Mathworks necesaria para utilizar la plataforma se describirán los pasos a continuación para la integración del canal en donde se van a alojar los datos de los sensores del proyecto.

### 5.3.3.12. Creación del Canal para Actualización de Datos en la Plataforma Thingspeak

1. Primeramente, se crea un Nuevo Canal, utilizando el botón “New Channel”.

**Figura 25.** Creación del canal.



**Nota.** Creación del canal a ser utilizado dentro de la plataforma Thingspeak.

2. A continuación, se le asigna un nombre característico al canal junto con una breve descripción de la información a recolectar, así también el campo “field” pertenece a los datos de los sensores que se van a mostrar en la plataforma.

**Figura 26.** Edición de datos del canal.

**New Channel**

**Name** Red de Sensores en "Paletillas, Loja - Ecuador"

**Description** Proyecto de investigación para determinar Nitrógeno y pH del suelo, así como índice UV y calidad del aire necesarios para el cultivo de maíz en la localidad de Paletillas, de la provincia de Loja - Ecuador.

**Field 1** Índice UV

**Field 2** CO2

**Field 3** pH

**Field 4** Nitrógeno

**Field 5**

**Field 6**

**Field 7**

**Field 8**

**Metadata**

**Help**

Channels store all the data that a ThingSpeak application collects. Each channel include eight fields that can hold any type of data, plus three fields for location data and one for status data. Once you collect data in a channel, you can use ThingSpeak apps to analyze and visualize it.

**Channel Settings**

- **Percentage complete:** Calculated based on data entered into the various fields of a channel. Enter the name, description, location, URL, video, and tags to complete your channel.
- **Channel Name:** Enter a unique name for the ThingSpeak channel.
- **Description:** Enter a description of the ThingSpeak channel.
- **Field#:** Check the box to enable the field, and enter a field name. Each ThingSpeak channel can have up to 8 fields.
- **Metadata:** Enter information about channel data, including JSON, XML, or CSV data.
- **Tags:** Enter keywords that identify the channel. Separate tags with commas.
- **Link to External Site:** If you have a website that contains information about your ThingSpeak channel, specify the URL.
- **Show Channel Location:**
  - **Latitude:** Specify the latitude position in decimal degrees. For example, the latitude of the city of London is 51.5072.
  - **Longitude:** Specify the longitude position in decimal degrees. For example, the longitude of the city of London is -0.1275.
  - **Elevation:** Specify the elevation position meters. For example, the elevation

**Nota.** El gráfico representa, los parámetros que deberán ser completados para la creación del canal, y la creación de los campos con las variables a monitorear, dentro de la plataforma Thingspeak.

3. Bajando por las opciones de edición del canal se añade las coordenadas geográficas y altitud en donde se ubica el proyecto, así como etiquetas que permitirán su identificación en búsquedas web. Finalmente se selecciona el botón “Save Channel” para guardar la configuración.

**Figura 27.** Grabado de parámetros de configuración del canal.

The screenshot shows the ThingSpeak configuration interface. The top navigation bar includes 'Channels', 'Apps', 'Devices', and 'Support'. The main content area is divided into two columns. The left column contains the following fields and options:

- Metadata:** An empty text input field.
- Tags:** A text input field containing 'Loja, Ecuador, Paletillas, pH, UV, ppm, co2, nitrogen'. Below it, a note says '(Tags are comma separated)'. There is a small red 'x' icon on the right side of the field.
- Link to External Site:** A text input field containing 'http://'. There is a small red 'x' icon on the right side of the field.
- Link to GitHub:** A text input field containing 'https://github.com/'. There is a small red 'x' icon on the right side of the field.
- Elevation:** A text input field containing '459'.
- Show Channel Location:** A checked checkbox.
- Latitude:** A text input field containing '-4.178918'.
- Longitude:** A text input field containing '-80.220062'.
- Show Video:** An unchecked checkbox.
- Video Platform:** Two radio buttons: 'YouTube' (selected) and 'Vimeo'.
- Video URL:** A text input field containing 'http://'. There is a small red 'x' icon on the right side of the field.
- Show Status:** A checked checkbox.

At the bottom of the left column is a green button labeled 'Save Channel'.

The right column contains the following text:

- Elevation:** A note: 'Specify the elevation position meters. For example, the elevation of the city of London is 35,052.'
- Video URL:** A note: 'If you have a YouTube™ or Vimeo® video that displays your channel information, specify the full path of the video URL.'
- Link to GitHub:** A note: 'If you store your ThingSpeak code on GitHub®, specify the GitHub repository URL.'
- Using the Channel:** A section header.
- Using the Channel:** A paragraph: 'You can get data into a channel from a device, website, or another ThingsSpeak channel. You can then visualize data and transform it using ThingSpeak Apps.'
- Using the Channel:** A paragraph: 'See Get Started with ThingSpeak™ for an example of measuring dew point from a weather station that acquires data from an Arduino® device.'
- Using the Channel:** A link: 'Learn More'.

**Nota.** El gráfico representa, los parámetros de donde se encuentra ubicado el proyecto que deberán ser completados para la configuración del canal, dentro de la plataforma Thingspeak.

4. Una vez creado el canal, se debe dirigir al submenú “Sharing” en donde se selecciona la opción: “Share channel view with everyone”, esto con el fin de incorporar y compartir el monitoreo en diferentes plataformas.

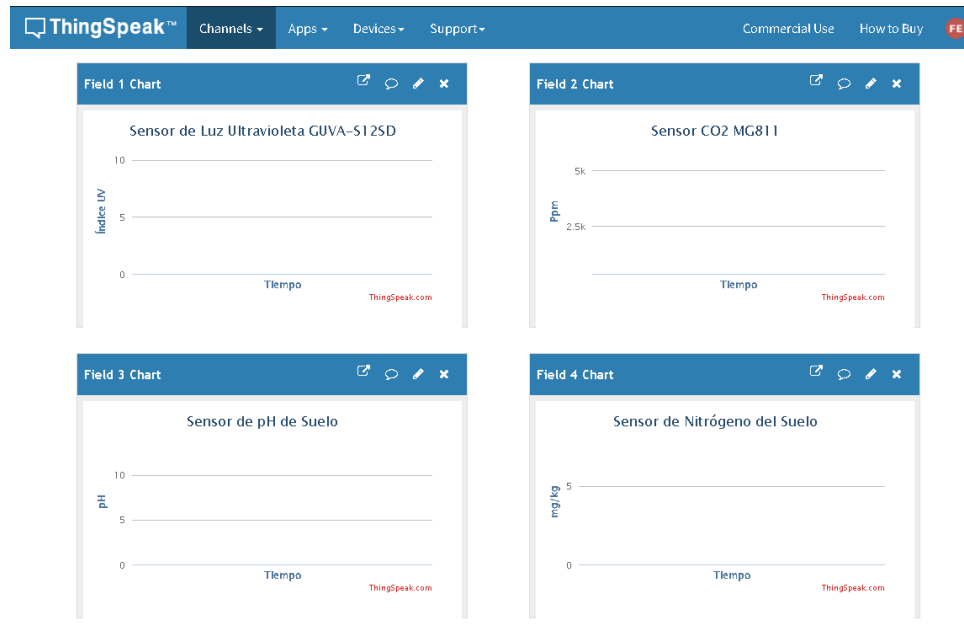
**Figura 28.** Habilitación de compartimiento del canal.

The screenshot shows the ThingSpeak interface for a channel named "Red de Sensores en 'Paletillas, Loja - Ecuador'". The channel ID is 1658047, the author is mwa000025637821, and the access is private. The channel description is in Spanish, detailing a research project on soil nitrogen and pH, and UV index, for maize cultivation in Paletillas, Loja, Ecuador. The channel tags include "loja, ecuador, paletillas, ph, uv, ppm, co2, nitrogen". The "Channel Settings" tab is active, showing "Channel Sharing Settings" with three options: "Keep channel view private" (unselected), "Share channel view with everyone" (selected), and "Share channel view only with the following users:" (unselected). There is an "Add User" button and an input field for email addresses. The "Help" section explains that ThingSpeak allows control over who can view data, and that reading data requires an API key. The "Channel Sharing Settings" section lists three options: "Keep channel view private" (keeps the channel private), "Share channel view with everyone" (makes the channel public), and "Share channel view only with the following users" (shares the private view with specific users).

**Nota.** Configuración dentro de la plataforma Thingspeak para poder visualizar los datos, o compartirlos con alguna otra plataforma de visualización de la graficas de los datos obtenidos.

5. A continuación, se edita las estadísticas en el submenú “Public View”, que servirá para monitorear los diferentes indicadores correspondientes a los datos de los sensores, el campo “Field 1” corresponde al sensor de índice Uv, el campo “Field 2” al sensor de CO2, el campo “Field 3” es designado para los datos del sensor de pH del suelo y el campo “Field 4” para el nitrógeno del suelo.

**Figura 29.** Edición de figuras de monitoreo de los sensores en la plataforma.

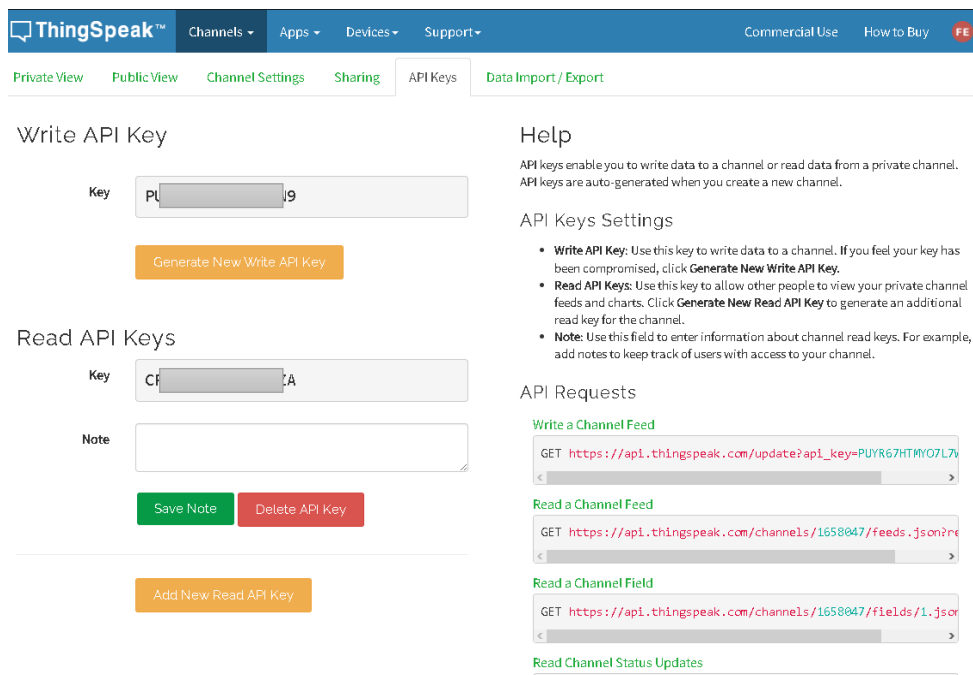


**Nota.** El gráfico representa, los campos dentro de la plataforma Thingspeak, con cada una de las variables a ser obtenidas por cada uno de los sensores de monitoreo.

6. Finalmente, dentro del submenú: “API Keys”, seleccionaremos la clave necesaria para sincronizar los datos obtenidos a través de los sensores con la plataforma, que se trata de la “Write API Key”, es una clave personal para escribir datos en un canal, en caso de que se filtrará y la información del canal se viese comprometida es necesario generar una nueva “API Keys”.



**Figura 30.** Claves API para escritura y lectura del canal.



**Nota.** El gráfico representa, la contraseña de gestión la cual permite la escritura de los datos arrojados por cada uno de los sensores y como a su vez para poder acceder a la configuración de posibles parámetros dentro de canal.

### 5.3.3.13. Código programa: “GATEWAY ENC28J60”

El programa para enviar datos desde el gateway hacia la plataforma Thingspeak se detalla a continuación.

```

// Libreria para uso de módulo ethernet
#include <EtherCard.h>
#define APIKEY "PUYR67HTMYO7L7W9" // Clave del canal de Thingspeak
// Dirección MAC de la interfaz Ethernet, debe ser única en la red LAN
static byte mymac[] = { 0x74,0x69,0x69,0x2D,0x30,0x31 };
const char website[] PROGMEM = "api.thingspeak.com";
byte Ethernet::buffer[700];
uint32_t timer;
Stash stash;
byte session;
bool ini_ether = false;

// SimpleRx - the slave or the receiver
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

#define CE_PIN 48
#define CSN_PIN 53

const uint64_t pipe1 = 0xF0F0F0F0AA;
const uint64_t pipe2 = 0xF0F0F0F066;

RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);

struct sensor
{
  int temp;
  word hum;
  byte sensorNum;
};
sensor sensorData;
int conta=0;
unsigned long currentMillis;
unsigned long prevMillis;
unsigned long txIntervalMillis = 1000; // send once per second
//=====================================================

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("SimpleRx Starting");
  radio.begin();
  //radio.setDataRate( RF24_250KBPS );
  radio.openReadingPipe(1, pipe1);
  radio.openReadingPipe(2, pipe2);
  radio.startListening();
  //radio.printDetails();
  //Serial.println();
  //Serial.println();
  //delay(2000);
  initialize_ethernet();
}

//=====================================================

void loop() {
  tempo();
  ether.packetLoop(ether.packetReceive());
  getData();
  delay(2000);
}

//-----

```

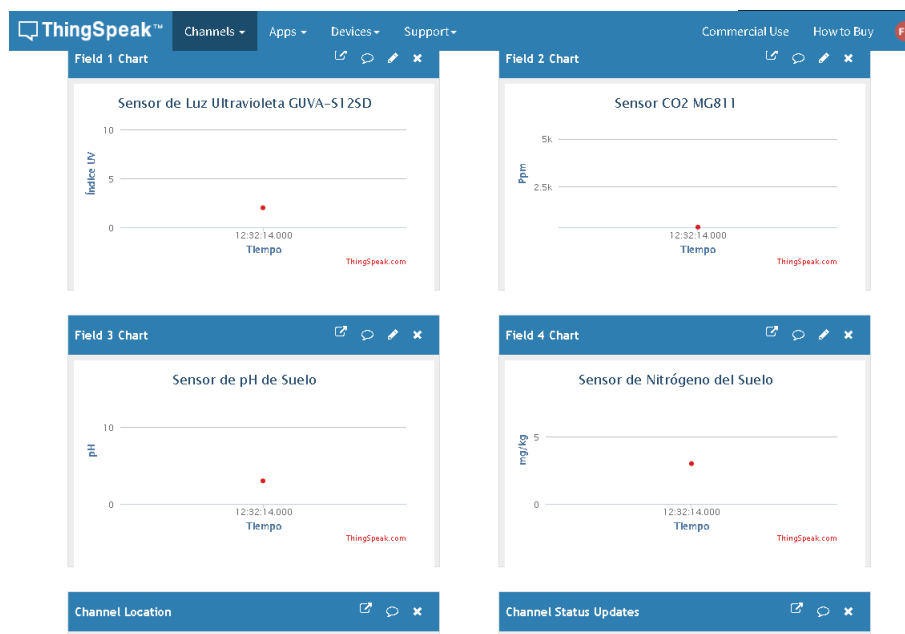
Los resultados del código se aprecian en la Figura 31 a continuación de donde se obtiene una respuesta satisfactoria desde el servidor.

**Figura 31.** Comprobación de envío de datos desde Gateway hacia Thingspeak.

```
[Ejemplo Thingspeak]
IP: 192.168.90.130
GW: 192.168.90.1
DNS: 192.168.0.1
SRV: 3.224.210.136
Indice UW:2
CO2:358
Nitrogeno:3
pH:3
300total de segundos
>>>REPLY recieved....
HTTP/1.1 200 OK
Date: Fri, 18 Feb 2022 17:32:14 GMT
Content-Type: text/plain; charset=utf-8
Content-Length: 1
Connection: close
Status: 200 OK
X-Frame-Options: SAMEORIGIN
Access-Control-Allow-Origin: *
Access-Control-Allow-Methods: GET, POST, PUT, OPTIONS, DELETE, PATCH
Access-Control-Allow-Headers: origin, content-type, X-Requested-With
Access-Control-Max-Age: 1800
ETag: W/"6b86b273ff34fcel9d6b804eff5a3f57"
Cache-Control: max-age=0, private, must-revalidate
X-Request-Id: 0602c26e-9100-43a8-813
```

**Nota.** Envío de datos de cada una de las variables, del nodo Gateway hacia la plataforma de Gestión Thingspeak.

**Figura 32.** Actualización de datos en la plataforma.

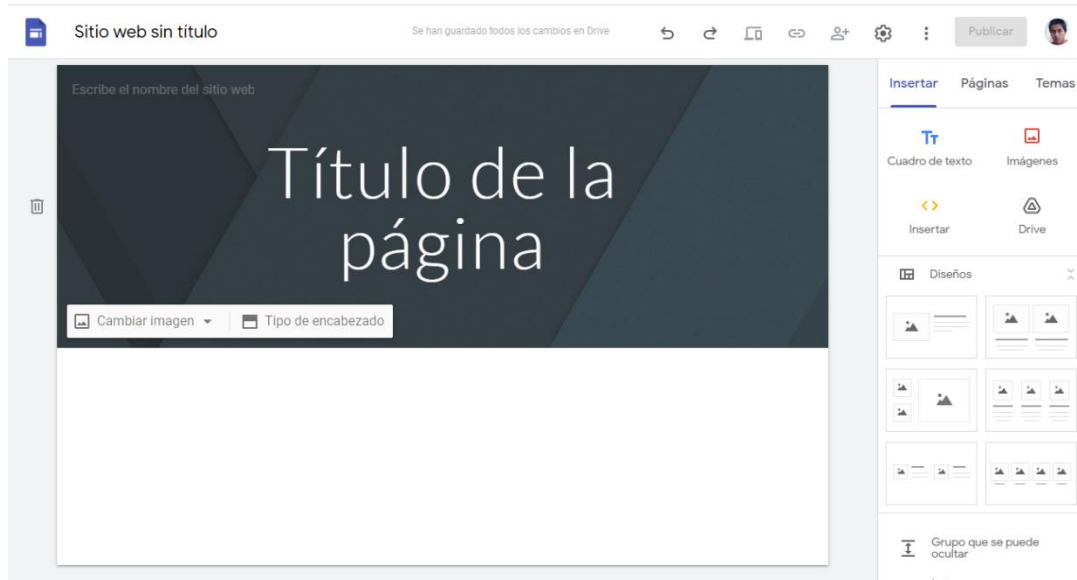


**Nota.** El gráfico representa, el envío de datos de cada una de las variables, del nodo Gateway hacia la plataforma de Gestión Thingspeak.

### 5.3.4. Creación de la Página Web

Para la creación de la página web usaremos Google Sites ya que es una aplicación en línea gratuita que nos permitira crear sencillas páginas web sin tener conocimientos de HTML y sin necesidad de instalación ni de mantenimiento de ningún tipo de software o hardware, el sitio web se la puede compartir con un grupo reducido de colaboradores, una organización o con todo el mundo. El objetivo de Google Sites es que cualquier persona pueda crear un sitio web con facilidad ya que su uso permite que cualquier usuario se acerque y compruebe como con unos pocos clics puede construir una web a su medida.

**Figura 33.** Pantalla de Bienvenida a Google Sites.



**Nota.** El gráfico representa, la plantilla principal de Google sites, y las diferentes herramientas para creación de la página web.

Para crear una página web profesional con Google Sites necesitamos una portada y una o varias subpáginas enlazadas entre sí, para ello se diseñará una web destinada al monitoreo de las variables como son: la radiación  $U_v$ ,  $CO_2$ , pH y nitrógeno del suelo.

**Figura 34.** Portada del Sitio Web.



Red de sensores para el cultivo de maíz en la comunidad de Tambillo Cantón Zapotillo de la provincia de Loja

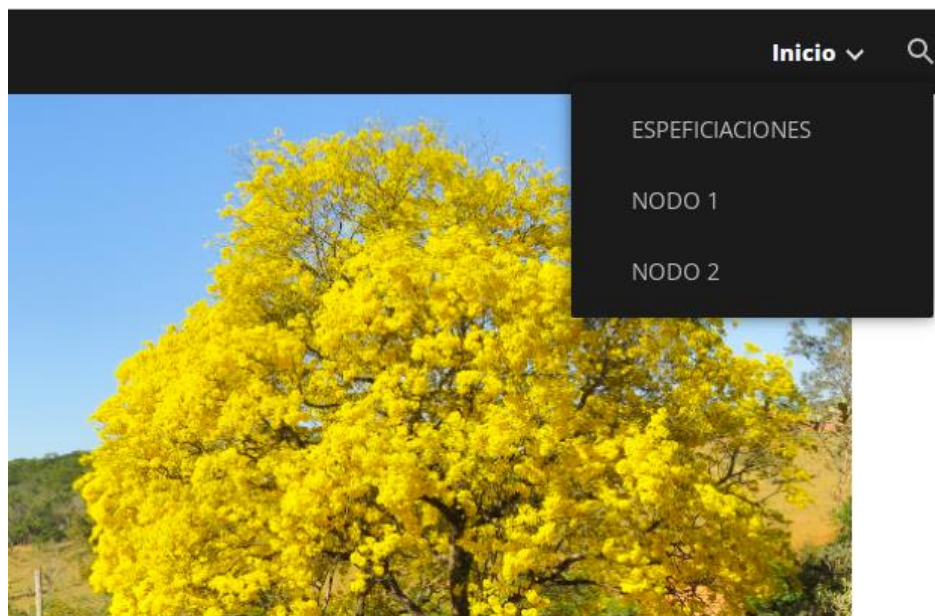


ASOAGUA

**Nota.** El gráfico representa, la página principal del sitio web a utilizar, para la visualización de cada una de las variables propuestas por el proyecto.

Para la página web se utilizaron tres plantillas una plantilla especificaciones donde se detallará el proyecto a implementar, una segunda plantilla que se la dominara Nodo 1 en donde se representa los valores que son arrojados por el sensor de Uv y CO<sub>2</sub> y una tercera plantilla que la dominaremos Nodo 2 en donde se representaran los valores arrojados por los sensores de nitrógeno y pH del suelo.

**Figura 35.** Plantillas a utilizarse.



*Nota.* El gráfico representa, cada uno de los submenús que se utilizaran para la visualización de las variables a utilizar.

### **5.3.5. Sistema de alimentación de los nodos**

Para el diseño del sistema de alimentación de los nodos se consideró importante tener en cuenta que no todas las localidades rurales dedicadas a la agricultura tienen acceso al servicio de energía eléctrica. El sistema propuesto requiere de alimentación constante para tener un funcionamiento ininterrumpido para ello se ha propuesto implementar un sistema fotovoltaico ya que el proyecto se encuentra en una zona con una elevada incidencia de luz solar (por estar ubicado dentro de la línea Ecuatorial) se utilizará paneles solares, los cuales son capaces de captar la energía de la radiación solar y transformarlas en energía eléctrica.

### **5.3.6. Evaluación de la energía consumida por día**

Para poder dimensionar el sistema de alimentación, del sistema propuesto, del nodo router se debe realizar el cálculo de la potencia nominal de cada elemento que compone un nodo para determinar la energía diaria consumida, en la tabla se enumera dichos elementos y su consumo.

Para conocer la potencia nominal de cada dispositivo se multiplica el voltaje DC (V) por la (I) corriente como se ve en la ecuación.

$$P = V * I [W] \quad (2)$$

Para determinar la potencia de consumo de cada elemento se aplica la siguiente ecuación

$$P = \text{voltaje} (I_{\text{arduino}} + I_{\text{sens de nitrógeno}} + I_{\text{sens de PH}} + I_{\text{sens radiacion solar}} + I_{\text{sens de CO2}}) \quad (3)$$

En la Tabla 25 se muestra los valores de potencia nominal relacionados con el tiempo de funcionamiento del sistema, multiplicando la potencia nominal (P) (en watio) por el tiempo de funcionamiento (H) (en horas) da como resultado el valor de la energía diaria consumida en unidades Vatio/Hora, la cual se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$E = P * H = [W/H] \quad (4)$$

**Tabla 25** Consumo energético de la red de sensores.

Dispositivos	Descripción	Cantidad	Voltaje de operación (V)	Corriente de consumo máxima(A)	Potencia Nominal (W)	Tiempo de Operación (H)	Energía diaria (W/H)
<b>Arduino uno</b>	Arduino Uno	1	5 V	0,04	0,2	24	4,8
<b>Arduino mega</b>	Arduino Mega	1	5 V	0,04	0,2	24	4,8
<b>Sensor de nitrógeno</b>	Taidacent RS485	1	5 V	0.002	0.01	24	0,24
<b>Sensor de PH</b>	Taidacent RS485	1	5 V	0,002	0,01	24	0,24
<b>Sensor de CO2</b>	MG811 CO2	1	5 V	0,02	0,1	24	2,4
<b>Sensor UV</b>	GUVA-S12SD	1	5 V	0,005	0,025	24	0,6
<b>Dispositivo de transmisión</b>	Módulo Nrf24l01	1	3,6 V	0,115	0,414	24	0,99
<b>Módulo Ethernet</b>	Enc28j60	1	3,3 V	0,001	0,0033	24	0,0792
<b>Bateria</b>	Fox	1	12	9,0	108	24	4,5
<b>TOTAL</b>							18,65



**Nota.** Esta tabla muestra, el total del consumo energético del nodo principal para los cual se usará para dimensionamiento del sistema fotovoltaico como a su vez para la elección del panel solar.

La energía en corriente continua diaria consumida (ECCDC) del sistema es de 18,65 W/H. por lo tanto se tuvo en cuenta que la eficiencia de la batería utilizada a una tensión nominal de 12 V y una eficiencia ( $\eta$ ) de 95 % estos datos permiten calcular la energía total consumida por el sistema (ET) mediante la ecuación.

$$ET = \frac{ECCDC}{\eta} = [W/H] \quad (5)$$

$$ET = \frac{18,65}{0,95} = 19,63 [W/H]$$

El valor de la Energía total consumida por el sistema a diario es de 19,63 W/H, con este valor se calcula los parámetros del sistema fotovoltaico para ello se requiere calcular el horario solar pico (HPS).

### 5.3.7. Selección del Horario Solar Pico

Para determinar las horas solares pico se debe tener en cuenta los siguientes términos.

- La irradiación es la magnitud de la intensidad de iluminación solar que llega al ser humano.
- La irradiación es la cantidad de irradiación recibida por el ser humano en un intervalo de tiempo por unidad de superficie.
- Las horas solares pico (HPS) es el número de horas que existe irradiación solar constante que tiene el valor de 1000 W/m<sup>2</sup>.

Para obtener las HPS en la provincia Zapotillo se utilizó el atlas solar del Ecuador el cual indica los siguientes datos.

La irradiación solar promedio anual es de 4.574,99 Wh/m<sup>2</sup> por día (CONELEC, 2008).

Irradiación solar constante 1000 W/m<sup>2</sup>(CONELEC, 2008).

Para obtener las horas picos HPS solares se tomó irradiación solar promedio anual 4.574,99 Wh/m<sup>2</sup> por día y se dividió entre 1000 W/m<sup>2</sup> y obtenemos un valor de 4,574 h\*día

### 5.3.8. Dimensionamiento del panel fotovoltaico

Para el dimensionamiento del panel fotovoltaico se hace el cálculo de número de paneles solares que se van a necesitar en el módulo router, para lograr estos se necesitan los siguientes parámetros.

Potencia pico del panel solar ( $P_p$ ) es la potencia que produce el panel solar cuando existen máxima iluminación solar, 50 w es el parámetro que nos tiene el panel solar utilizado.

Factor global de pérdida ( $F_g$ ) es la dimensión de la energía entregada por el generador respecto de la energía solar. Este se encuentra en 0,65 y 0,9; para este caso se tomó un promedio 0,77.

Energía total (ET) es de 18,65 [W/H] consumida por los módulos de los nodos 1 y 2.

Para obtener el número total de paneles solares requeridos (NT) para el sistema se aplica la ecuación

$$NT = \frac{ET}{P_p * HPS * F_g} \quad (5)$$

Remplazando los valores da el siguiente resultado

$$NT = \frac{19,63}{50 * 4,574 * 0,77} = 0,11147$$

El resultado obtenido del número total de paneles solares requeridos (NT) indica que se necesita 1 panel solar de 18 w para solventar el consumo energético del sistema, pero se utilizó un panel de 50 w para posibles alimentaciones a futuro que sean requeridas por el sistema o por el usuario, como última instancia el panel de 50 w trabajará a la mitad de la capacidad lo cual cubre el consumo energético requerido por los nodos.

### 5.3.9. Cálculo de la Capacidad de las Baterías (CB)

Definido el panel a utilizar se procede a dimensionar el bloque de baterías para almacenar la energía proveniente de los paneles solares, además se requiere una autonomía de 18 horas por seguridad. Para determinar el cálculo por el sistema que es de 18,65 W/H con la siguiente ecuación podremos determinar la capacidad de la batería.

$$CB = \frac{D*ET}{V*Pd} \quad (6)$$

Donde

***CB = capacidad de la Bateria [Ah]***

***D = Dias de Autonomia (16 horas = 0,66 día)***

***ET = Demanda de Energia  $\left[\frac{W}{H}\right]$***

***V = Voltaje de la Bateria [V]***

***Pd = Profundidad de descarga [0,6]***

$$CB = \frac{0,66 * 18,65}{5 * 0,6} = 4.103 [Ah]$$

Los resultados obtenidos de CB determinando que la capacidad requerida para la batería es de: 4.103 [Ah].

Al necesitar una capacidad mínima de 4.103 [Ah] para el funcionamiento el nodo se escogió una batería Forza con una capacidad 9 [Ah] que es mayor a la capacidad requerida. Usando la ecuación se determinará.

$$batería_{duración} = \frac{9 * 5 * 0,6}{18,65} = 1,447 \approx 35 \text{ horas}$$

## 5.4. Implementación

### 5.4.1. Ubicación del Proyecto

El presente proyecto se ubicará en los terrenos de la señora Rosa Teonila Eras Pasiche, miembro de la asociación Guacacocha los predios de la adjudicataria se encuentran a unos 20 minutos de la comunidad de tambillo, por ello e dicha zona no cuenta con servicio de comunicación (Internet), lo cual presenta un problema para que los datos que serán recopilado por cada uno de los sensores sean enviados a la plataforma de gestión para ello se pretende usar tecnología móvil ya que esta tecnología me permitirá dotar de un servicio de internet por medio de datos Móviles.

**Figura 36.** Predios donde se desarrollará el proyecto.



*Nota.* Representación, del sitio donde serán ubicados los nodos para la recolección de los datos para luego ser analizados.

#### **5.4.2. Ubicación de los Nodos**

Para la ubicación del nodo se tomaron puntos estratégicos en donde se abarca una hectárea y para el levantamiento de cada uno de los datos se usará un GPS de la marca Garmin.

**Figura 37.** Puntos georreferenciados con el GPS Garmin.



*Nota.* Equipo para la obtención de las coordenadas tanto en latitud como en longitud para la georreferenciado de cada uno de los nodos.

En la Tabla 26 se describirán las coordenadas tanto en longitud como latitud de cada uno de los nodos a implementarse.

**Tabla 26.** Coordenadas de ubicación de los nodos.

Nodos	Latitud	Longitud	Distancia desde Gateway
Gateway	0586827	9538428	0 m
Nodo 1	0586927	9538332	200 m
Nodo 2	0587004	9538429	150 m

*Nota.* Esta tabla muestra, los puntos tomados mediante el GPS, tanto en longitud como en latitud como a su vez la distancia que se encuentra los nodos con el nodo Gateway.

Una vez realizada la obtención usamos el software Google Earth Pro para tener una mejor visualización de la ubicación de los nodos.

**Figura 38.** Visualización en Google Earth de los nodos.



*Nota.* El gráfico representa, la ubicación de los nodos, con la ayuda de los puntos georreferenciados, y el software Google Earth Pro se puede apreciar el lugar donde se encontrarán ubicados.

### **5.4.3. Implementación del Sistema Fotovoltaico**

Para la alimentación de cada uno de los nodos se usarán paneles solares monocristalino de 50 w 18 V de la marca Prostar que tiene una tensión en punto máximo potencia ( $V_{max}$ ) 18 V, corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{max}$ ) 2,78 A, tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) 22,8 V, una eficiencia del 14 %, su número de células para captar la radiación solar es de 36 células, y sus dimensiones son 670x420x25 mm.

**Figura 39.** Panel solar monocristalino de 50 w.



*Nota.* El gráfico representa, el panel solar monocristalino el cual transforma la energía solar recibida en electricidad, posee 36 celdas y una tensión en el punto máximo de 18 V, el cual servirá para poder dotar de energía al sistema y como a su vez a la batería.

Para un mejor desempeño del sistema fotovoltaico se utilizará un controlador regulador de carga solar de 10 A -12 V el cual me permite regular automáticamente el voltaje y la corriente que ingresa a la batería desde el panel solar, y está diseñado con protección contra polaridad inversa y protección contra sobrecargas para garantizar que las baterías no están sobrecargadas, la energía no corre hacia atrás a los paneles solares la noche y drena las baterías, posee dos entradas USB de 5 V 3 A, dispone de una pantalla LCD con función de luz de fondo que indica claramente el estado y los datos. El dispositivo es fácil de instalar y operar, adecuado para aplicaciones de sistemas de energía solar domésticos, industriales y comerciales.

**Figura 40.** Controlador regulador de carga solar 12 V 10 A.



*Nota.* El controlador de carga el cual posee 4 entradas de positivo y negativo para la colocación de dos paneles solares, como a su vez 2 entrada de positivo y negativo para la batería y 2 entradas de positivo y negativo el cual me dará una salida de voltaje de 12 V en corriente directa.

Para el almacenamiento energético se utilizará las baterías de la línea forza, que utiliza la última innovación en tecnología de plomo-acido para lograr una batería sumamente versátil y de gran utilidad en aplicación de energía renovable, posee una capacidad de 9 Ah y un voltaje de 12 V su cubierta es a prueba de fugas, no requiere mantenimiento se puede colocar en cualquier posición sin riesgo de degradar su capacidad ni que se derrame el electrolito.



**Figura 41.** Batería forza 12 V 9Ah.



**Nota.** El gráfico representa, la batería de la marca forza que posee un voltaje nominal de 12 V y una capacidad de 9 Ah, la cual permitira dotar de energía al circuito una vez que el panel deje de captar energía solar.

Para la protección de cada uno de los dispositivos se utilizó cajas metálicas de la marca BEAUCOUP con medidas de 300 x 300 x 100 mm la cual tiene como objetivo proteger los circuitos de posibles daños generados por condiciones climáticas o circunstancias adversas.

#### **5.4.4. Construcción de los nodos a implementar**

Para la construcción de los nodos, se colocó el inversor solar con los respectivos cables, para cada cable se utilizó terminales de punta Figura 43, para ser colocado en el inversor solar y terminal fastón hembra con reten Figura 42, los terminales fastón se los utilizará para conectar cada polo de la batería, cada terminal se lo protegerá con cinta termoretractil de 2 mm.

**Figura 42.** Terminal fastón hembra con retén.



*Nota.* El gráfico representa, al terminal de fastón hembra, el cual lo utilizaremos para conectar los polos de la batería con el controlador de carga.

**Figura 43.** Terminal de punta para cable 14 AWG.



*Nota.* El gráfico representa, al terminal de punta, el cual lo utilizaremos en el extremo del conductor para luego ser ingresado hacia el controlador de carga.

Para la colocación del sistema fotovoltaico se construyeron estructuras metálicas de 2,50 m de altura, para evitar que ocasionen interferencias entre los cultivos y los sistemas de comunicación de cada uno de los nodos, por lo general los cables de alimentación de los paneles solares vienen de un metro se procedió a la adaptación de cables de color azul y verde de 12 AWG Figura 44, lo cual para diferenciarlos al azul se lo tomó con positivo y el verde como negativo para luego ser conectados al inversor controlador de carga.

**Figura 44.** Empalme de cable 12 AWG del panel solar hacia el controlador de carga.



*Nota.* El gráfico representa, el empalme (de prolongación) de los cables del panel solar hacia el controlador de carga.

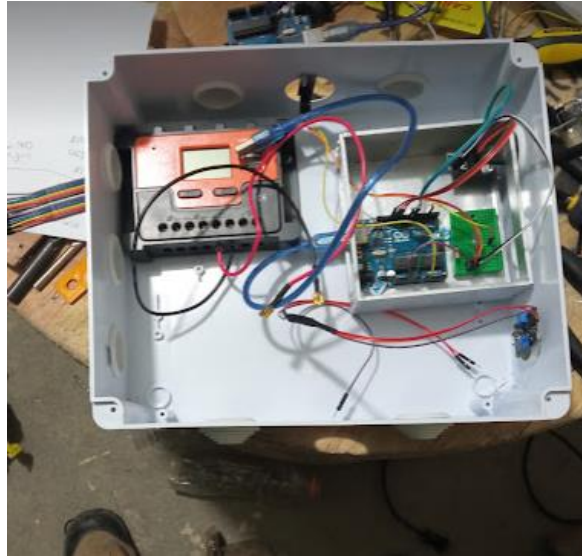
Una vez distribuido el espacio dentro de la caja, se procedió a la colocación de la caja de madera que servirá para la protección, aislamiento del Arduino y del módulo de radio frecuencia, se perforo la caja para asegurar tanto la caja de madera como el inversor solar como sus demás componentes.

**Figura 45.** Colocación del inversor solar en la caja metálicas.



**Nota.** Controlador de carga empotrado en la caja metálica junto con los cables de que servirán para conectar la batería, el cable rojo representa al conductor positivo mientras que el cable negro representa al conductor negativo.

**Figura 46.** Caja de plástico con los componentes y los sensores de CO2 y Uv.



*Nota.* Distribución de los componentes dentro de la caja plástica como a su vez el aseguramiento de los componentes de control como es el Arduino y los sensores de Uv y CO2.

#### **5.4.5. Posición de los Sensores de Nitrógeno y pH**

Para colocar los sensores de Nitrógeno y pH, se introdujo los mismo a 25 cm de profundidad del suelo, en posición horizontal tal como nos indica el fabricante para tener unas medidas más precisas a la hora de la recolección de datos por los sensores.

**Figura 47.** Medición de la profundidad del hueco para los sensores.



*Nota.* Profundidad a la que fueron colocados los sensores los cuales se encargaran de medir las características del suelo.

**Figura 48.** Colocación horizontal de los sensores.



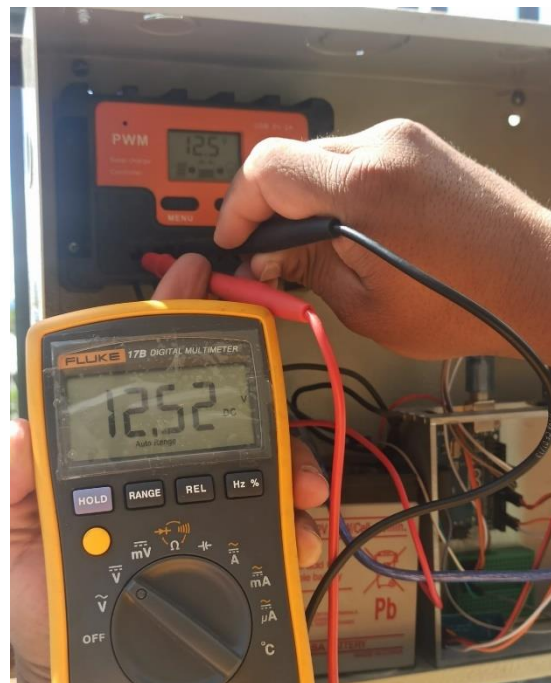
*Nota.* Posición en la que fueron colocados los sensores, el sensor de etiqueta azul representa el de nitrógeno, y el de etiqueta ploma representa el de pH.

## 5.5. Evaluación

### 5.5.1. Verificación de Sistema Fotovoltaico

Para la comprobación del sistema fotovoltaico que dotara de energía al sistema se procedió, a la comprobación de cada uno de los nodos, se realizó medidas del voltaje entregado por el panel solar monocristalino, hacia el regulador de carga. teniendo un voltaje de 12 V, o mayor a 12 V, el cual proporcionará la suficiente energía para poder cargar la batería que será implementada en el sistema y poseer una reserva de energía para el mejor funcionamiento del sistema de monitoreo.

**Figura 49.** Verificación con multímetro de la energía solar entregada por el panel, al sistema.



**Nota.** Comprobación de voltaje, la que es entregada por el panel solar de 50 w al sistema.

Como se puede observar en la Figura 46 se obtiene un voltaje de trabajo de 12.52 V, se está utilizando baterías de 9 Ah. Se calculará el tiempo que tarda en descargarse cuando conectamos nuestro sistema previamente calculado en 18.25 vatios, lo primero que tenemos que calcular es la intensidad que va a circular cuando esté conectado el sistema. Si aplicamos la fórmula del cálculo de la potencia para obtener la intensidad:



$$P = V.I \quad (7)$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{18,25}{12} = 1,52A$$

Según la definición de capacidad de una batería (Días & Carmona, 2020) se define como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa de la batería, partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora.

$$C = t.I \quad (8)$$

$$t = \frac{C}{I} = \frac{9}{1,52} = 5 \text{ horas}$$

Como conclusión tendremos que el tiempo en horas que tardará en descargarse el acumulador será de 5 horas.

### 5.5.2. Verificación de la Red Móvil

Para la verificación de los datos móviles que se está entregando por medio del router Huawei B612s se comprobó que tiene una velocidad de carga de 79,59 KB y descarga de 152,37 KB, sabiendo que nuestra operadora será la red de Tuenti, ya que en dicho sector la banda de frecuencia es la LTE, obtenido un consumo mensual de datos de 457,85 MB, por lo tanto, se concluyó que el consumo de datos es bajo para el sistema de monitoreo haciéndolo eficiente y económico.

**Figura 50.** Datos tomados del Router Huawei implementado en el sistema.

Conexión actual			Estado WLAN		Info de inicio de sesión anterior	
Cargar/Descargar:	79,63 KB / 153,37 KB		Estado WLAN:	Activada		
Duración:	00:00:59		Usuario WLAN actual:	1		
			Dirección IP:	192.168.8.101		
			Fecha y hora:	2022-6-10 17:10:11		
			Estado:	Normal		

## Estadísticas

### Red Móvil

Volumen actual: 255,81 KB

Duración: 00:01:25

Utilización de datos mensual: 464,4 MB

Duración: 01 día 21:50:16

Volumen total: 467,85 MB

Duración: 01 día 22:19:12

[Plan de datos](#)

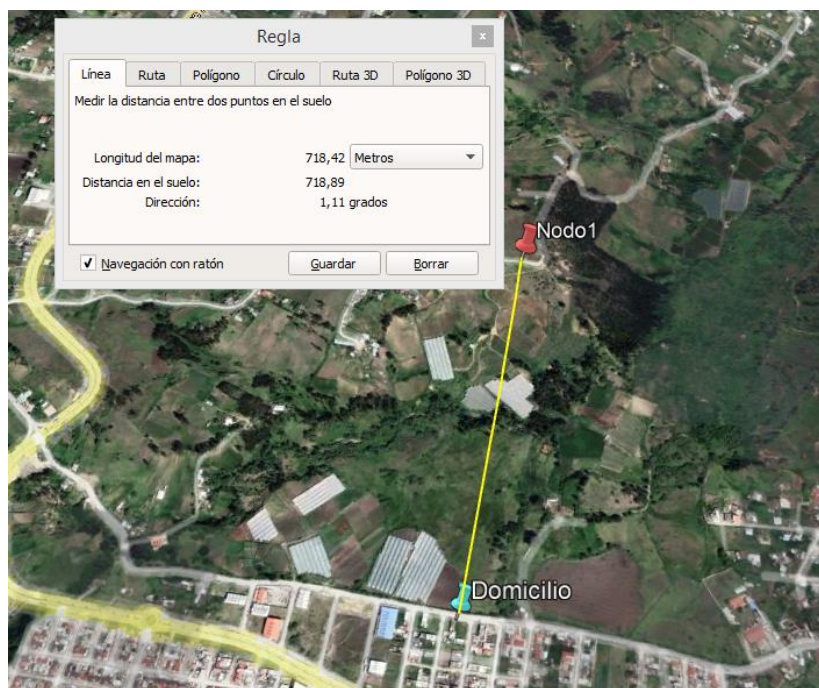
*Nota.* El gráfico, muestra las estadísticas de la red móvil del router Huawei donde se puede observar la cantidad de datos consumida durante el mes, así como el volumen de megas que se encuentra entregando al sistema.

### 5.5.3. Verificación del Radio Enlace

Para la transmisión de datos de cada uno de los nodos se ponen a prueba los módulos de radio frecuencia Nrf24l01, los cuales están encargados de la comunicación entre el Gateway y los nodos, siendo necesario el uso de un microcontrolador y varios componentes externos para su funcionamiento.

La verificación del sistema de transmisión se hizo mediante pruebas de distancia entre el nodo Gateway y el nodo 1, donde el Gateway lo ubicamos en el domicilio del desarrollador del proyecto y para la ubicación del nodo 1 se buscó un sitio estratégico donde podríamos tener línea de vista y con la ayuda de la herramienta “Google Earth” se pudo obtener un valor de distancia aproximado de 718 metros, evidenciando así que los datos arrojados por los sensores de Uv y CO2 llegan a la plataforma cada 5 minutos.

**Figura 51.** Validación de la distancia con ayuda del software Google Earth.



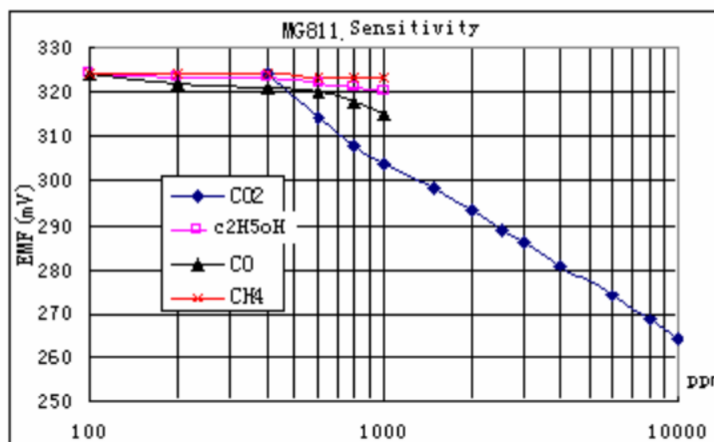
*Nota.* El gráfico, hace referencia a la distancia a la que se pudo tener, para la transmisión con los módulos de RF, esto se pudo logra gracias al software Google Earth.

#### **5.5.4. Proceso de Calibración del Sensor MG811 C02**

Como se puede observar en la Figura 51 denominada M811 Sensivity, se observa la respuesta correspondiente a la medición de CO<sub>2</sub> en ppm con respecto al voltaje EMF, la pendiente observada establece que el sensor puede detectar valores de CO<sub>2</sub> desde 350 ppm hasta 10000 ppm.

Cabe recalcar que estos resultados se ven afectados por el voltaje de alimentación del sensor, la temperatura ambiental, la humedad relativa y el nivel de oxígeno del lugar en donde se realiza la toma de muestras.

**Figura 52.** Curva de sensibilidad del sensor de dióxido de carbono.



**Nota.** El gráfico, hace referencia a la curva de sensibilidad del sensor de dióxido de carbono, donde en el eje "x" se tiene los valores de ppm y el eje "y" hace referencia a los valores en EMF (electromotive force) milivoltios los cuales serán necesarios a la hora de calibración para la detección de dióxido de carbono.

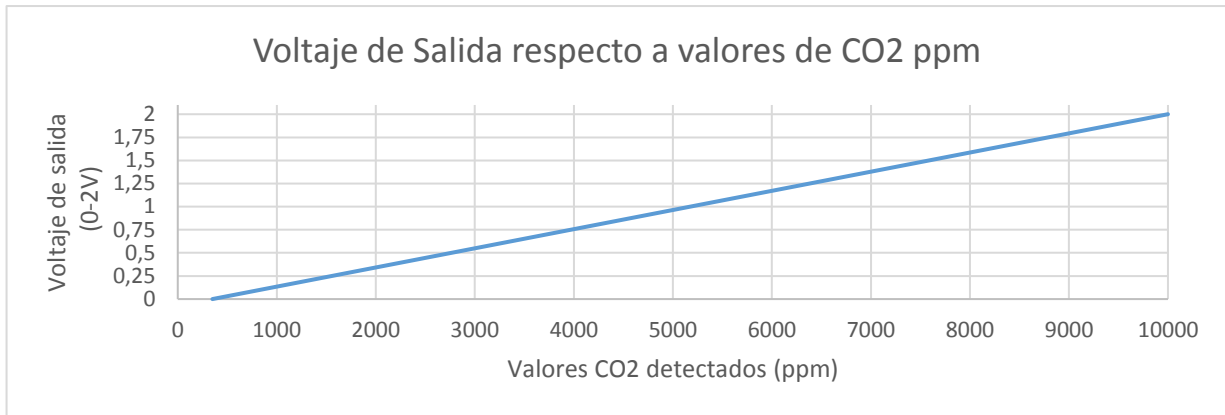
**Tabla 27.** Características técnicas del sensor de dióxido de carbono esenciales para la calibración del mismo.

<b>Tamaño:</b>	32 mm x 22 mm x 27 mm (largo x ancho x Alto).
<b>IC:</b>	LM393
<b>Voltaje de trabajo:</b>	6 V (DC)
<b>Salidas:</b>	Salida analógica 0 ~ 2000 mV, (mayor consistencia, mayor voltaje)
	TTL (Bajo-Alto)

**Nota.** La tabla nos muestra los parámetros del sensor de dióxido de carbono los cuales fueron tomadas del Datasheet 8 para realizar la calibración del sensor de dióxido de carbono.

A partir de las especificaciones de la Tabla 27 se procedió a relacionar los valores de voltaje de salida del sensor (0-2 V) respecto a los niveles de CO<sub>2</sub> en ppm. Obteniendo como resultado la pendiente de la figura a continuación.

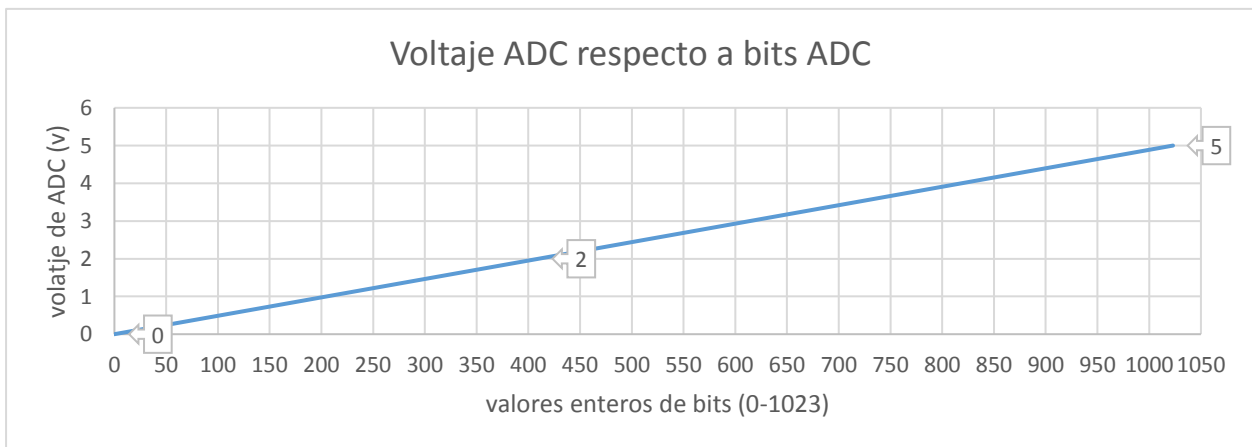
**Figura 53.** Relación entre el voltaje de salida del sensor respecto a valores de CO2.



**Nota.** El gráfico, hace referencia a la relación del voltaje de salida con los valores detectados de CO2, donde en el eje “x” tendremos el voltaje de salida que viene comprendida de 0-2 V, y el eje “y” hace referencia a los valores detectados de CO2 en ppm.

Si bien el sensor entrega un voltaje de salida de 0-2 V el microcontrolador encargado de procesar estos valores opera en un voltaje de 0-5 V con una resolución de 10 bits, entregando así valores enteros entre 0-1023, por ende, se relacionó el voltaje de operación ADC de Arduino (0-5 V) respecto a los valores enteros de bits que representan (0-1023), esto con la finalidad de encontrar el valor que representa al voltaje de 2 V cuyo resultado es de 409,2.

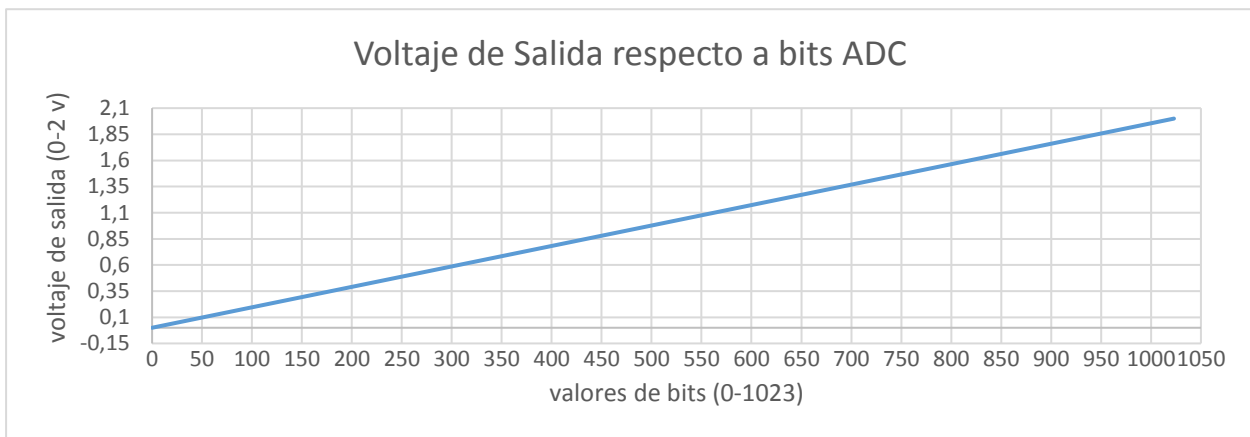
**Figura 54.** Relación de voltaje de ADC de Arduino respecto a la resolución de bits.



**Nota.** El gráfico, hace referencia a la relación del voltaje ADC respecto a los bits de ADC, donde en el eje “x” tendremos los valores de los bits y en el eje “y” encontramos los valores de conversión de analógico a digital.

Con la finalidad de aprovechar la resolución total que entrega Arduino se mapearon los valores de (0,4092) que representan el voltaje de 0 a 2 V con respecto a (0-1023), obteniendo como resultado la figura a continuación.

**Figura 55.** Voltaje de salida del sensor respecto a la resolución de bit ADC.



**Nota.** El gráfico, hace referencia a la relación del voltaje ADC respecto a los bits de ADC, donde en el eje “x” tendremos los valores de los bits y en el eje “y” encontramos los valores de conversión de analógico a digital.

Para finalizar se relacionó los niveles de CO2 en ppm con respecto a los valores de bits ADC, considerando la ecuación de la pendiente de una recta de donde:

X = Lectura ADC del sensor (Se refiere a los valores de bits ADC de 0 – 1023)

Y = Valores de CO2 (Se refiere a los valores entre 350 – 10.000 ppm)

M = Pendiente (Se refiere al factor de la escala)

B = Es la intersección en y (también conocida como compensación)

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (9)$$

$$m = \frac{(10000 - 350)}{(1023 - 0)}$$

$$m = \frac{9650}{1023} = 9,433$$

Una vez que se ha determinado el factor de escala igual a 9,433 se utiliza la fórmula pendiente-intersección en el punto (0, 350) para calcular el desplazamiento es decir b.

$$y = mx + b$$

$$350 = \frac{9650}{1023} * (0) + b \rightarrow b = 350$$

Para verificar que el factor de escala y la compensación sean correctos se reemplaza el segundo punto en la ecuación, que en este caso es (1023, 10000).

$$y = mx + b$$

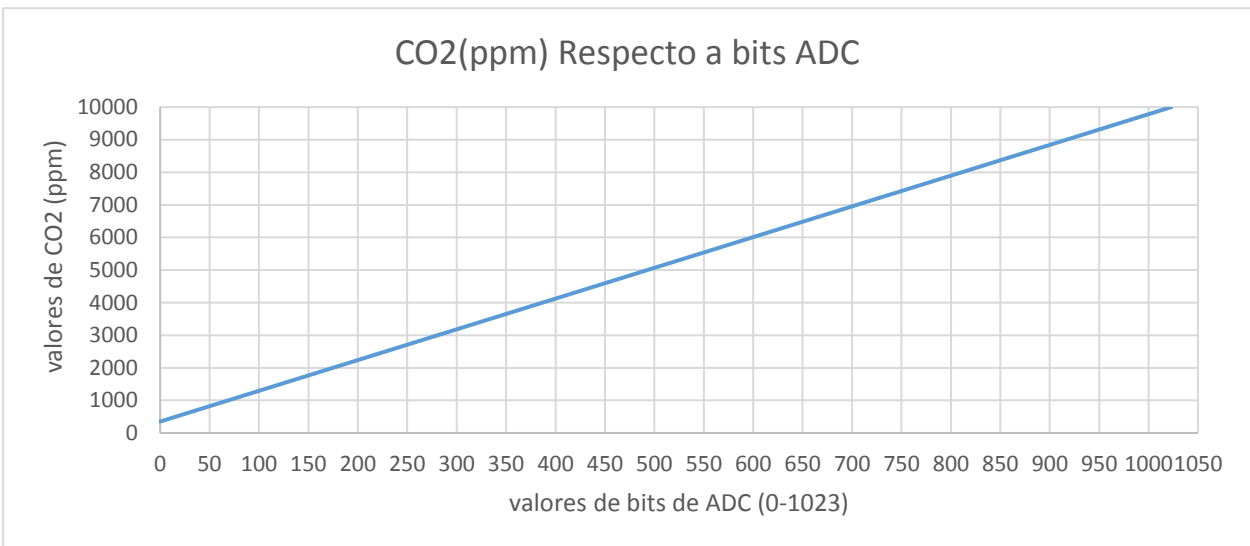
$$10000 = \frac{9650}{1023} * (1023) + 350$$

$$10000 = 9650 + 350$$

$$10000 = 10000$$

Dado que esta operación aritmética es válida, se verifica que el factor de escala y de compensación son correctos, obteniendo como resultado la gráfica a continuación.

**Figura 56.** Valores de CO2 respecto a la resolución de bits ADC.

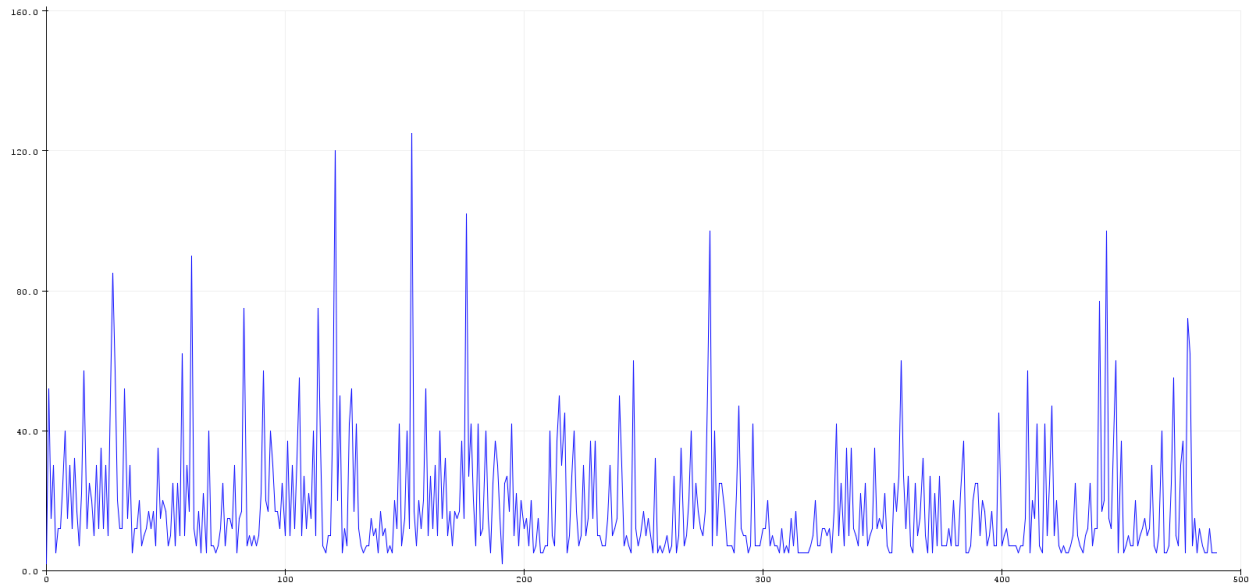


**Nota.** El gráfico, hace referencia a la relación a los valores de CO2 respecto a los bits de ADC, donde en el eje “x” encontramos los valores de bits de la conversión analógico digital y en el eje “y” tendremos los valores de CO2 (ppm).

Una vez finalizado el proceso matemático para poder tomar medidas con el sensor de CO2, se empezó a tomar muestras de la conversión ADC de la salida analógica del sensor obteniendo los resultados que se muestran en la figura a continuación, en la cual se puede apreciar un alto nivel de ruido.



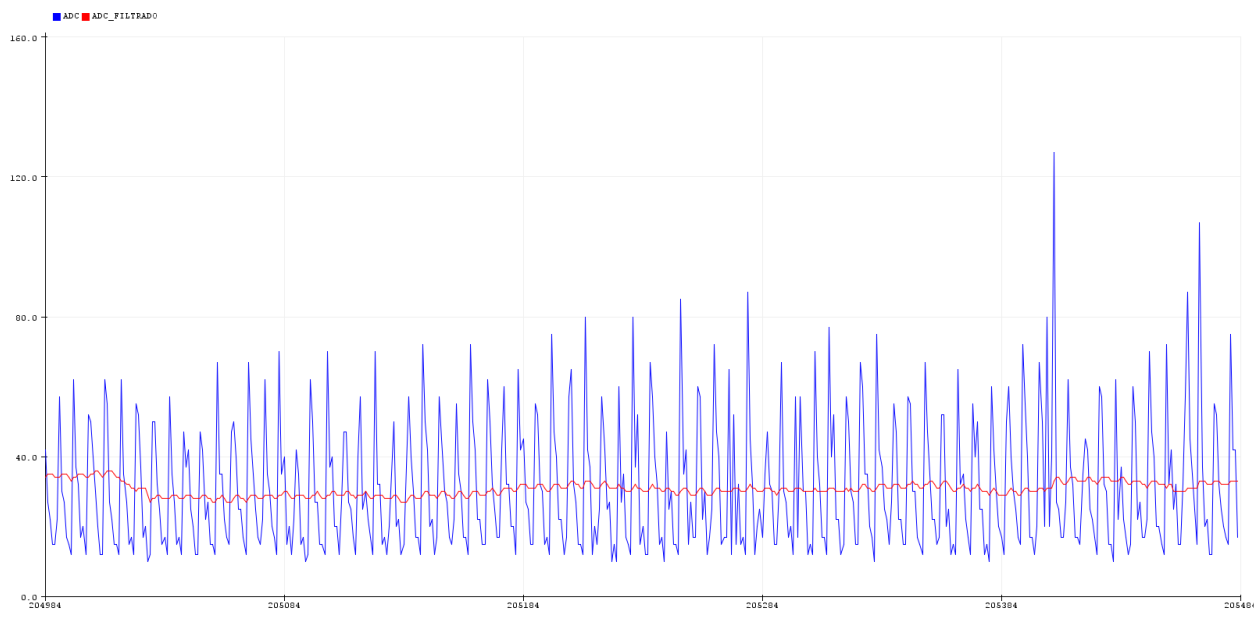
**Figura 57.** Resultado del sensado utilizando serial plotter de Arduino.



**Nota.** El gráfico, hace referencia al resultado de los valores arrojado por el sensor de CO<sub>2</sub>, en la ventana de serial plotter, encontrado en el software Arduino.

Con la finalidad de eliminar el ruido de las mediciones, se procedió a implementar un filtro de Media móvil (Moving average), que consiste en calcular series de promedios de varias muestras de datos, de tal forma que se tiene una lista de números en la cual cada uno es el promedio de un subconjunto de los datos originales. Una vez implementado el filtro su resultado fue satisfactorio obteniendo la gráfica a continuación, de donde la señal en azul representa los valores de datos originales y la señal en rojo los promedios de estos datos.

**Figura 58.** Resultado de la incorporación del filtro para la reducción del ruido en el sensado.



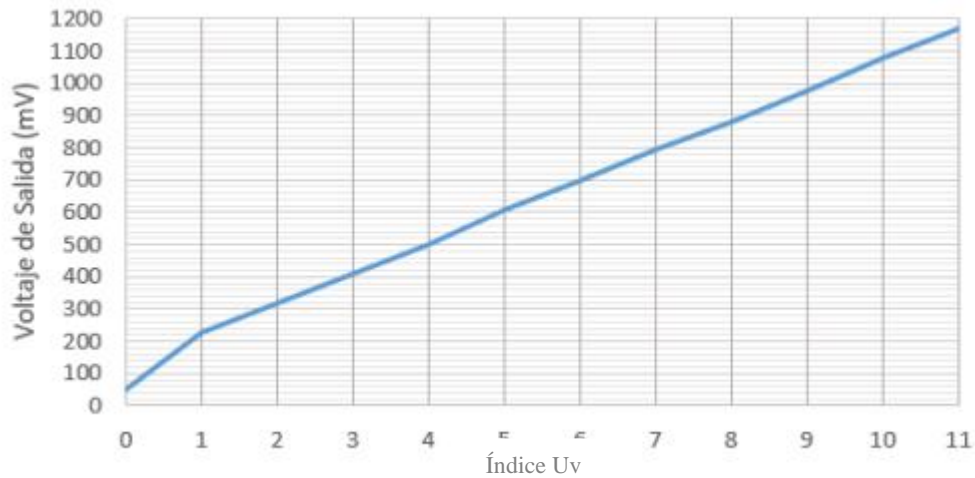
**Nota.** El gráfico, hace referencia al resultado de los valores arrojado por el sensor de CO2 una vez incorporado el filtro, en la ventana de serial plotter, ubicada en herramientas en el software Arduino.

### 5.5.5. Calibración del Sensor de Radiación Ultravioleta

El sensor UV GUVA-S12SD tiene un rango espectral que va de 200 nm a 370 nm y genera una señal eléctrica de salida (analógica) que varía de acuerdo a la intensidad Uv.

El sensor UV GUVA-S12SD entrega un valor en milivoltios de acuerdo a la cantidad de radiación Uv que le llega, el fabricante del sensor proporciona una gráfica y una tabla que se muestra en la Figura 59, estas proporcionan los valores de salida en mV con lo que se alcanzan los 12 niveles de índice Uv (incluyendo el cero), por lo que basta con obtener el voltaje del sensor para tener el índice Uv, siempre aproximando al inmediato superior.

**Figura 59.** Relación gráfica y numérica entre el voltaje entregado por sensor Uv y el índice Uv.



Índice UV						
Vout (mV)	<50	227	318	408	503	606
Índice UV						
Vout (mV)	696	795	881	976	1079	1170+

**Nota.** Niveles de voltaje de salida en (mV) necesarias para poder calibrar el sensor de luz ultravioleta.

Cómo se observa en las gráficas anterior el comportamiento del sensor no es completamente lineal en los índices Uv más bajos, sin embargo los márgenes para pasar de un índice a otro son relativamente grandes por lo que no se cometería un error significativo al momento de considerar el comportamiento del sensor como lineal para simplificar la programación o ahorrar memoria en la placa, en cualquier caso lo límites de voltaje entregados por el fabricante son los que se toman en cuenta en la programación para establecer los diferentes índices Uv.

El trabajo de titulación utilizara el sensor UV GUVA-S12SD porque se trata de un elemento de bajo consumo respecto a otros sensores del mismo tipo, además de su precisión su funcionamiento es sencillo y cuenta con documentación y foros en línea para poder obtener el índice Uv a partir del voltaje.

### 5.5.6. Verificación del Sensor de Nitrógeno

El sensor de suelo NPK es adecuado para detectar nitrógeno, fosforo y potasio en el suelo y juzgar la fertilidad, nuestro principal objetivo es la detección del nitrógeno del suelo para los cultivos de maíz, para ello utilizaremos el sensor, presenta muchas ventajas ya que es resistente a la electrolisis a largo plazo, a la corrosión, y completamente impermeable.

El sensor de nitrógeno de suelo es un sensor portátil, de alta precisión, de respuesta rápida y de bajo costo. La ventaja de este sensor sobre un método tradicional es que brinda una medición muy rápida y los datos son muy precisos. El sensor funciona con 9-24 V y el consumo de energía es muy bajo. la precisión del sensor, está dentro del 2 %.

El sensor NPK tiene 3 marcos de consulta diferente, pero para nuestra implementación usaremos el marco de nitrógeno, el marco es:

*nitrogeno {0x01,0x03,0x00,0x01f,0x00,0x01,0xb5,0xcc}*

El marco de consulta para obtener el valor de nitrógeno del es

Address Code	Function Code	Register Start address	Register Length	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x00 0x1e	0x00 0x01	0XE4	0x0C

Obtendrá la siguiente respuesta

Address Code	Function Code	Effective Number of bytes	Nitrogen Value	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x02	0x00 0x20	0Xb9	0x9C

**Nota.** Los parámetros de los marcos de nitrógeno fueron tomados del del Datasheet del sensor NPK ubicada en el Anexo 10, para poder luego ser interpretada por el Arduino.

Se puede calcular el nitrógeno a partir de la respuesta que se recibe. Por ejemplo, si se obtiene 0030 como respuesta, el valor de nitrógeno del suelo será:

$$0020H \text{ (hexadecimal)} = 32 \text{ (decimal)} \Rightarrow \text{Nitrogeno} = 32 \text{ mg/kg}$$

Con el objetivo de validar el funcionamiento del sensor se realizaron dos pruebas de funcionamiento un antes y después del proceso de fertilización característico del suelo. El procedimiento, para cada uno de los casos se describen a continuación; se utilizó un recipiente de plástico de 25 cm de largo x 33 cm de ancho x 20 cm de alto con una disposición de total de 17 kg de tierra extraída de las plantaciones de maíz; la colocación del sensor dentro del recipiente fue centrada, para realizar las mediciones y comparaciones, que permitan validar los datos recibidos durante la prueba del sistema. En la Figura 60 se observa la ubicación del sensor en el entorno de la prueba.

**Figura 60.** Tierra sin fertilizar para experimento del sensor.



**Nota.** El gráfico, representa el recipiente con la tierra sin fertilizar para las pruebas de funcionamiento del sensor de nitrógeno.

En la prueba de funcionamiento se tomaron la lectura de los macronutrientes durante tres días y durante cuatro horas teniendo muestras cada 5 minutos, sin realizar proceso de fertilización dentro del recipiente que está alojando la tierra.

**Figura 61.** Niveles de nitrógeno del primer día, tierra sin fertilizar.



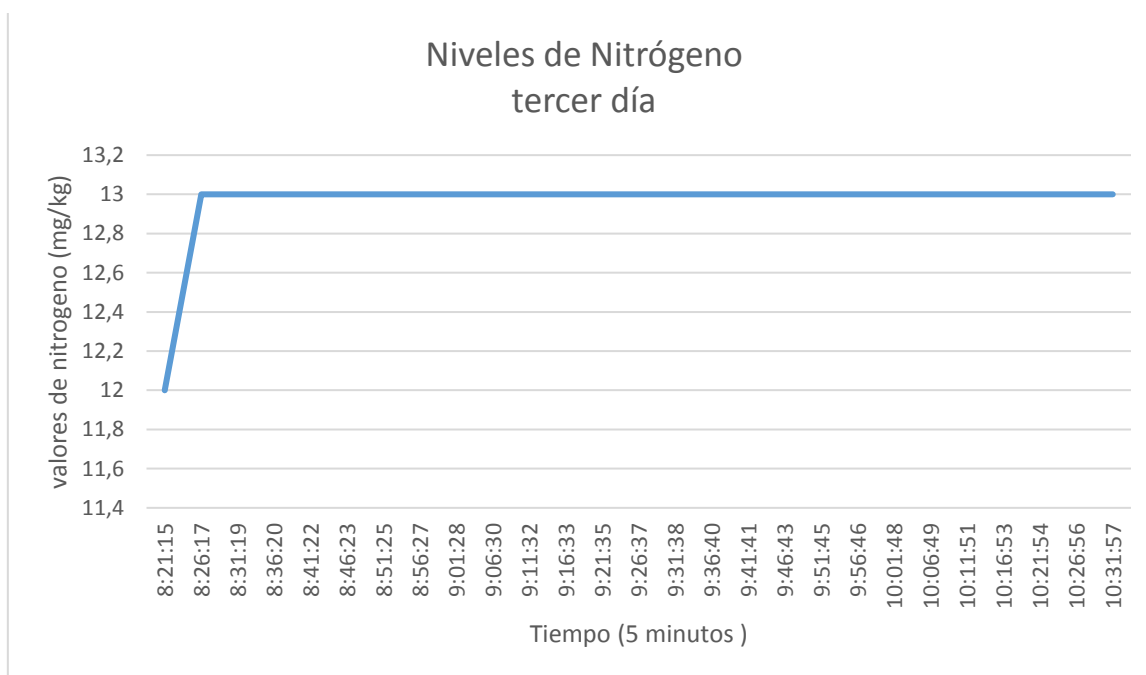
**Nota.** El gráfico, representa el recipiente con la tierra sin fertilizar para las pruebas de funcionamiento del sensor de nitrógeno del primer día, el eje “x” representa el tiempo cada 5 minutos en un intervalo de 4 horas, el eje “y” representa los valores de nitrógeno en (mg/kg).

**Figura 62.** Niveles de nitrógeno del segundo día, tierra sin fertilizar.



**Nota.** El gráfico, representa el recipiente con la tierra sin fertilizar para las pruebas de funcionamiento del sensor de nitrógeno del segundo día, el eje “x” representa el tiempo cada 5 minutos en un intervalo de 4 horas, el eje “y” representa los valores de nitrógeno en (mg/kg).

**Figura 63.** Niveles de nitrógeno del tercer día, tierra sin fertilizar.



**Nota.** El gráfico, representa el recipiente con la tierra sin fertilizar para las pruebas de funcionamiento del sensor de nitrógeno del tercer día, el eje “x” representa el tiempo cada 5 minutos en un intervalo de 4 horas, el eje “y” representa los valores de nitrógeno en (mg/kg).

Para validar el funcionamiento del sensor en este segundo caso, se realizó la misma configuración, a diferencia de la anterior prueba, se le agrego 1 Kg de fertilizante granulado (urea) Figura 64, utilizado en los cultivos de maíz, la cantidad aplicada de urea equivale aproximadamente la cantidad necesaria para esta prueba a modo de experimento. Luego de comprobar el funcionamiento de la etapa de adquisición, se procede a observar la manera en que estas lecturas varían después de aplicar el fertilizante.



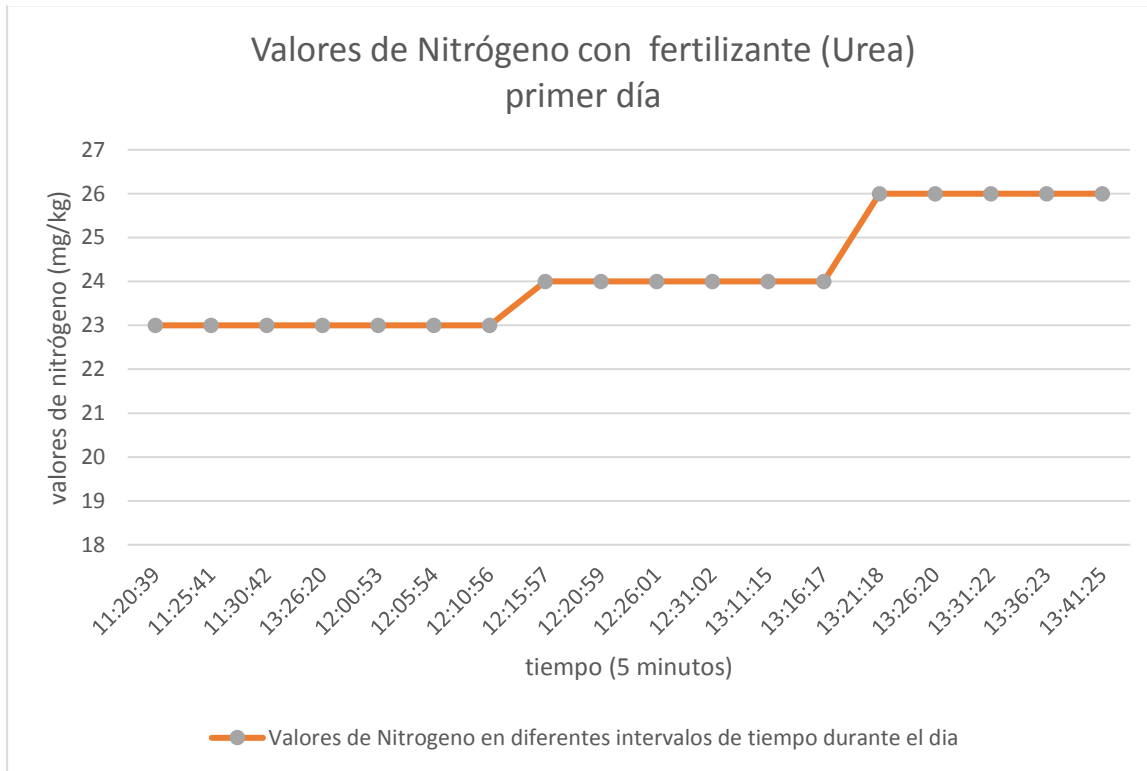
**Figura 64.** Tierra fertilizada para entorno de prueba.



*Nota.* El gráfico, representa el recipiente con la tierra fertilizada para las pruebas de funcionamiento del sensor de nitrógeno.

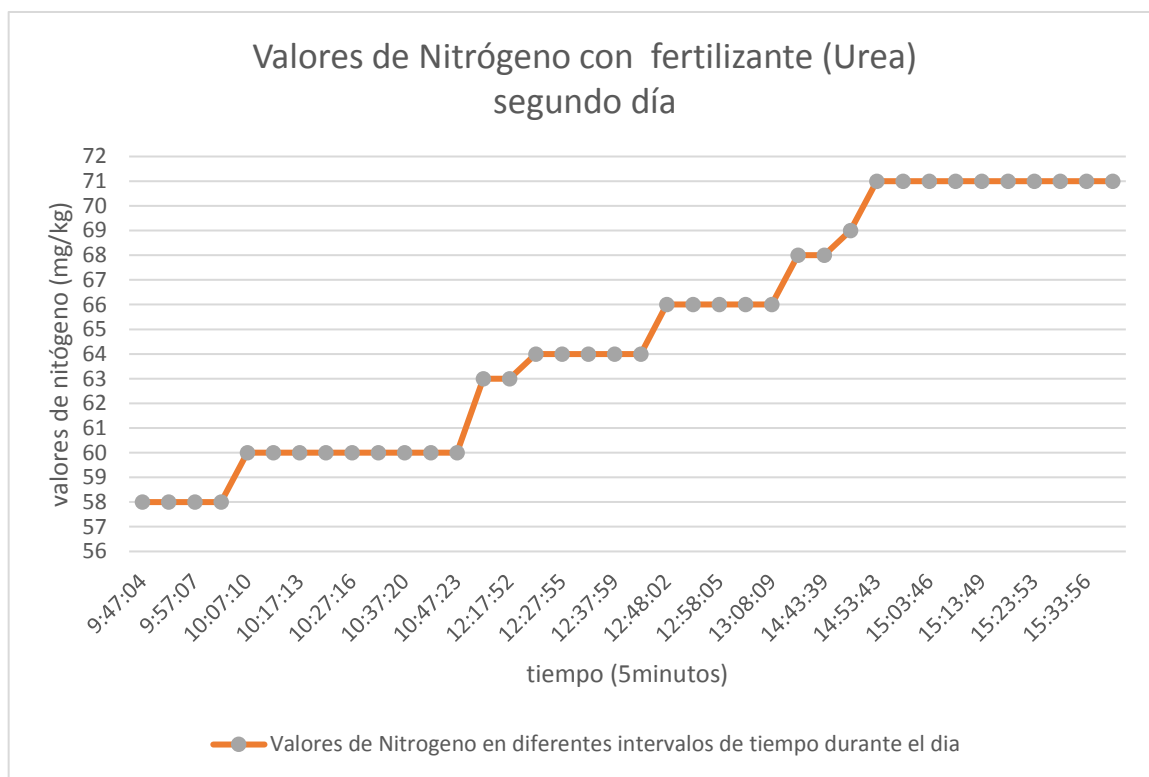
Los datos fueron recogidos durante tres días, de igual manera se tomaron datos que fueron arrojados por la plataforma de gestión para luego tabularlos en intervalos de cuatro horas cada cinco minutos.

**Figura 65.** Niveles de nitrógeno del primer día, tierra fertilizada.



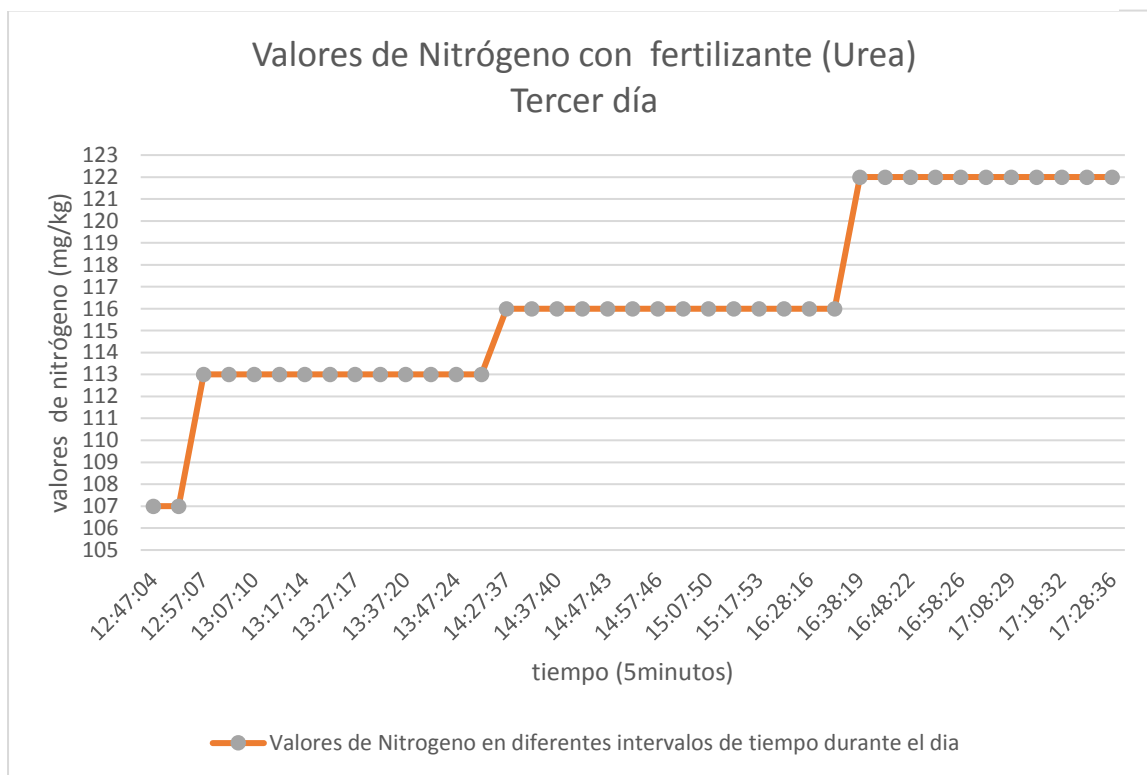
**Nota.** El gráfico, representa el recipiente con la tierra fertilizada para las pruebas de funcionamiento del sensor de nitrógeno del primer día, el eje “x” representa el tiempo cada 5 minutos en un intervalo de 4 horas, el eje “y” representa los valores de nitrógeno en (mg/kg).

**Figura 66.** Niveles de nitrógeno del segundo día, tierra fertilizada.



**Nota.** El gráfico, representa el recipiente con la tierra fertilizada para las pruebas de funcionamiento del sensor de nitrógeno del segundo día, el eje “x” representa el tiempo cada 5 minutos en un intervalo de 4 horas, el eje “y” representa los valores de nitrógeno en (mg/kg).

**Figura 67.** Niveles de nitrógeno del tercer día, tierra fertilizada.



**Nota.** El gráfico, representa el recipiente con la tierra fertilizada para las pruebas de funcionamiento del sensor de nitrógeno del tercer día, el eje “x” representa el tiempo cada 5 minutos en un intervalo de 4 horas, el eje “y” representa los valores de nitrógeno en (mg/kg).

Los datos de los niveles de nitrógeno fueron tomados con la tierra una vez fertilizada por un periodo de tres días, y se puede dar cuenta que a medida de cómo se va derritiendo la urea los niveles de nitrógeno van subiendo comprobando que el sensor está funcionando de manera óptima, de igual manera los datos fueron tomados en diferentes intervalos de tiempo.

**Figura 68.** Valor de nitrógeno arrojado la plataforma de Gestión.



*Nota.* El gráfico, representa el valor de nitrógeno tomada en la plataforma de gestión Thingspeak, cuando la tierra estaba siendo fertilizada el cual se pudo comprobar con éxito el funcionamiento del sensor de nitrógeno.

### 5.5.7. Calibración del sensor de pH

El método de calibración, se realizó utilizando un instrumento externo de medición de pH (Anexo 12), de donde se seleccionó diferentes tierras, en las cuales se introdujo los dos sensores de tal forma que se pudiese relacionar la medición de nivel de pH del instrumento externo junto con los valores de voltaje del sensor analógico de pH mediante la conversión ADC que ofrece la tarjeta embebida ARDUINO UNO, se da de acuerdo a la Tabla 28 a continuación:

**Tabla 28.** Características que ofrece las tarjetas y las cuales serán analizadas para la calibración del sensor de pH.

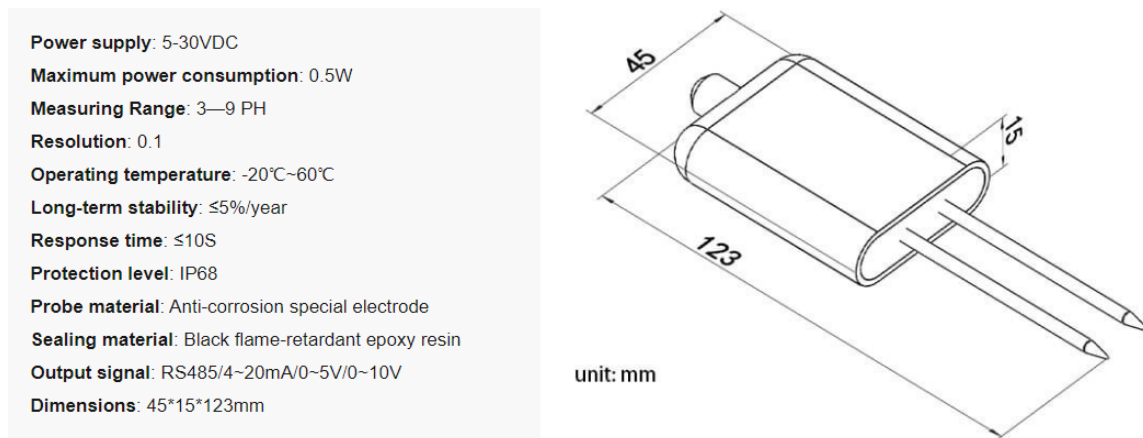
Dispositivo	Voltaje de operación	Pines	Máxima resolución
Uno	5 V	A0 to A5	10 bits
Mini, Nano	5 V	A0 to A7	10 bits
Mega, Mega2560, MegaADK	5 V	A0 to A14	10 bits
Micro	5 V	A0 to A11*	10 bits
Leonardo	5 V	A0 to A11*	10 bits

<b>Zero</b>	3,3 V	A0 to A5	12 bits**
<b>Due</b>	3,3 V	A0 to A11	12 bits**
<b>MKR Family boards</b>	3,3 V	A0 to A6	12 bits**

**Nota.** Esta tabla muestra los voltajes de operación de los diferentes microcontroladores, como a su vez la máxima resolución de bits de cada uno de ellos.

Como se puede apreciar la tarjeta Arduino uno posee un voltaje de operación de 5 V y una resolución máxima de 10 bits, esto resulta en que la lectura del sensor de pH otorgara valores entre 0 y 1023, esto conforme a los parámetros del sensor que se observan en la figura a continuación, de donde se considera que el sensor tiene un rango de medición del pH entre 3-9 con una resolución de 0,1.

**Figura 69.** Características del sensor para calibración del sensor.



**Nota.** El gráfico, representa las características del sensor de pH para realizar la calibración del mismo.

En base a conocer el rango de operación del sensor de pH (3-9 pH) y el rango de voltaje en que opera (0-5 V) se realiza una escala linear, Estas especificaciones nos dicen dos cosas:

- Una salida de 0 V representa una medida de 3 pH.
- Una salida de 5 V representa una medida de 9 pH.

Considerando la ecuación de la pendiente de una recta de donde:

Y = Salida del sensor (Se refiere a los valores de pH entre 3-9)

X = Entrada del sensor (Se refiere al voltaje de operación del sensor 0-5 V)

M = Pendiente (Se refiere al factor de la escala)

B = Es la intersección en y (también conocida como compensación)

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (9)$$

$$m = \frac{(9 - 3)}{(5 - 0)}$$

$$m = \frac{6}{5} = 1.2$$

Una vez que se ha determinado el factor de escala igual a 1.2 se utiliza la fórmula pendiente-intersección en el punto (0, 3) para calcular el desplazamiento es decir b.

$$y = mx + b$$

$$3 = \frac{6}{5} * (0) + b \rightarrow b = 3$$

Para verificar que el factor de escala y la compensación sean correctos se reemplaza el segundo punto en la ecuación, que en este caso es (5, 9).

$$y = mx + b$$

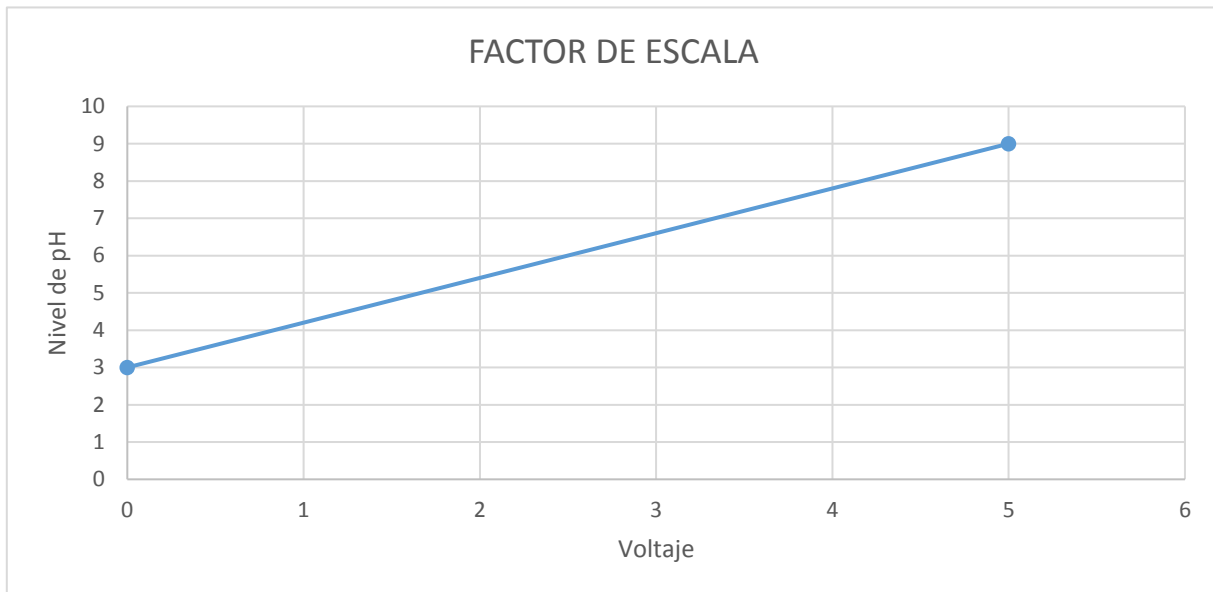
$$9 = \frac{6}{5} * (5) + 3$$

$$9 = 6 + 3$$

$$9 = 9$$

Dado que esta operación aritmética es válida, se verifica que el factor de escala y de compensación son correctos.

**Figura 70.** Relación del nivel de pH respecto a voltaje de salida del sensor pH.



**Nota.** El gráfico, representa la relación de pH respecto al voltaje de salida donde el eje “x” se representa el valor del voltaje de salida del sensor y el eje “y” representa los niveles de pH.

Considerando el mismo sentido para los valores de voltaje leídos a través de Arduino en un rango de 0 -1023 de acuerdo a los 10 bits ADC, se tiene un nuevo factor de escala, con las siguientes especificaciones:

- Una lectura de 0 representa una medida de 3 pH.
- Una lectura de 1023 representa una medida de 9 pH.

Considerando la ecuación de la pendiente de una recta de donde:

Y = Salida del sensor (Se refiere a los valores de pH entre 3-9 pH)

X = Lectura del sensor (Se refiere a la conversión ADC del Arduino 0-1023)

M = Pendiente (Se refiere al factor de la escala)

B = Es la intersección en y (también conocida como compensación)

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (9)$$



$$m = \frac{(9 - 3)}{(1023 - 0)}$$

$$m = \frac{6}{1023} = \frac{2}{341} = 5.86 \times 10^{-3}$$

Una vez que se ha determinado el factor de escala igual a  $5.86 \times 10^{-3}$  se utiliza la fórmula pendiente-intersección en el punto (0, 3) para calcular el desplazamiento es decir b.

$$y = mx + b$$

$$3 = \frac{2}{341} * (0) + b \rightarrow b = 3$$

Para verificar que el factor de escala y la compensación sean correctos se reemplaza el segundo punto en la ecuación, que en este caso es (1023, 9)

$$y = mx + b$$

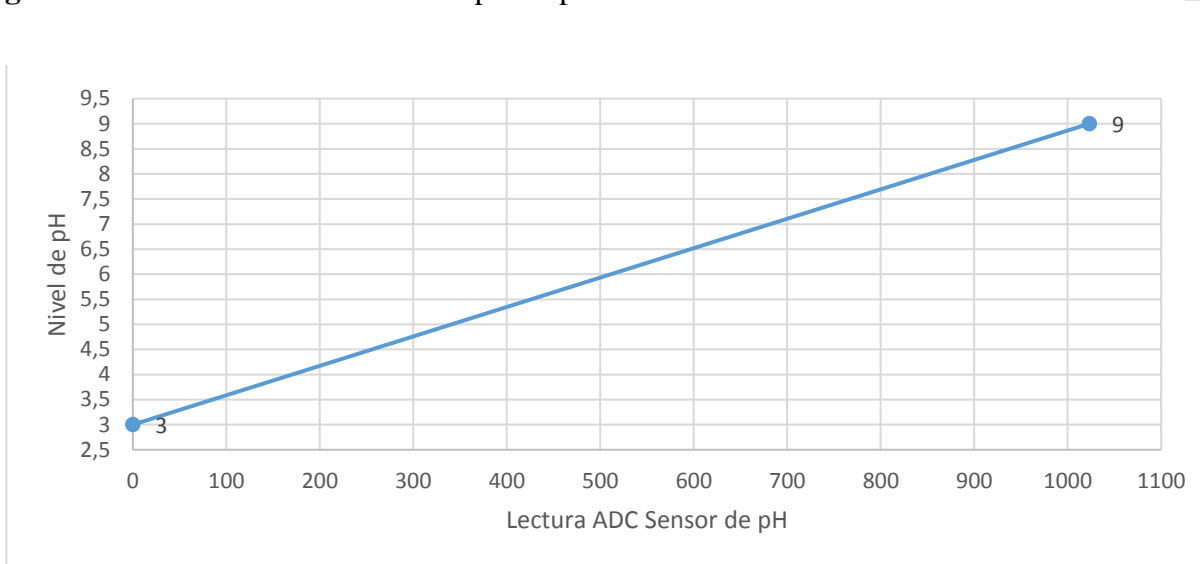
$$9 = \frac{2}{341} * (1023) + 3$$

$$9 = 6 + 3$$

$$9 = 9$$

Dado que esta operación aritmética es válida, se verifica que el factor de escala y de compensación son correctos.

**Figura 71.** Relación de los niveles de pH respecto a la resolución de bits ADC.



**Nota.** El gráfico, representa los valores de la relación de los niveles de pH respecto a la resolución de bits de ADC el eje “x” representa la resolución de bits de ADC y el eje “y” representa los niveles de pH.

## **6. Resultados**

En esta sección se mostrarán los resultados de las pruebas de funcionamiento, el análisis de los resultados, para esto se realizaron pruebas de cada una de las etapas que conforman el prototipo, luego de esto también se probó el funcionamiento en conjunto del mismo. En esta sección se incluye correcciones hechas sobre la base de errores detectados para que el sistema de monitoreo en las pruebas, además se realizó el ajuste de algunos elementos y parámetros para que el prototipo funciones de mejor manera.

### **6.1. Pruebas de funcionamiento**

**El proyecto de manera general consta de las siguientes etapas**

- Obtención de los niveles de Uv, CO<sub>2</sub>, pH y nitrógeno del suelo
- Enviar los datos obtenidos hacia la plataforma de Gestión que será Thingspeak.
- Procesar los datos para crear graficas de cada una de las variables.
- Mostrar las gráficas en una página web.

### **6.2. Etapa de adquisición de datos**

Consiste en las mediciones proveniente de cada uno de los sensores, ya que los mismos arrojan datos que posteriormente son procesados en los microcontroladores Arduino, para verificar que los datos se están cargando correctamente se utiliza la herramienta monitor serial del software Arduino, tal como se muestran en la Figura 72. La información que se observa consta de la lectura de los nodos, el número uno mide, el Uv y CO<sub>2</sub> y el número dos, el nitrógeno y el pH del suelo.

**Figura 72.** Obtención de datos de los nodos 1 y 2 en el monitor serial de Arduino.

```
SRV: 3.225.61.1
Indice UV:0
CO2:0
PH:0.00
NITROGENO:0
>>>REPLY recieved....
HTTP/1.1 200 OK
Date: Mon, 27 Mar 2023 14:51:52 GMT
Content-Type: text/plain; charset=utf-8
Content-Length: 5
Connection: close
Status: 200 OK
Cache-Control: max-age=0, private, must-revalidate
Access-Control-Allow-Origin: *
Access-Control-Max-Age: 1800
X-Request-Id: ea6f1f94-d09a-4948-b2e1-9eba34920e42
Access-Control-Allow-Headers: origin, content-type, X-Requested-With
Access-Control-Allow-Methods: GET, POST, PUT, OPTIONS, DELETE, PATCH
ETag: W/"b745dc21007c53365a7a6fcla31d3224"
X-Frame-Optio
DATOS NODO 1
UV: 0
CO2: 355
Pipe = 1
DATOS NODO 2
PH: 6.48
Nitrogeno: 128
Pipe = 2
DATOS NODO 1
UV: 1
CO2: 351
Pipe = 1
Indice UV:1
CO2:351
PH:6.48
```

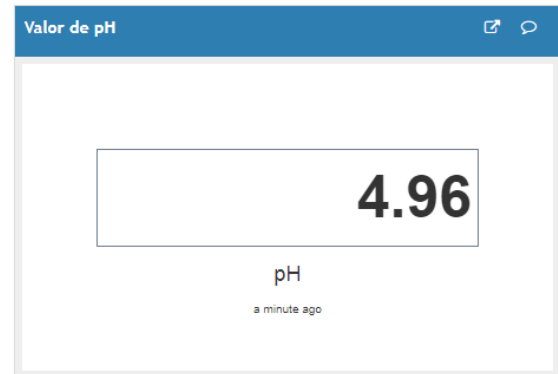
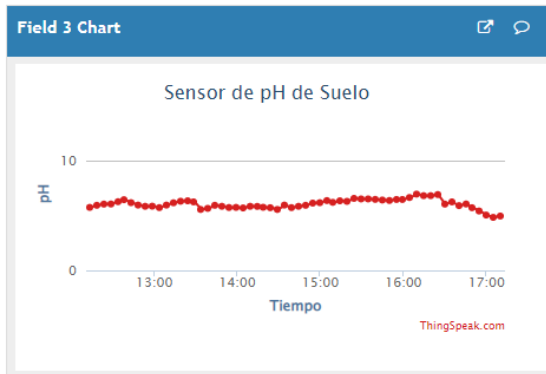
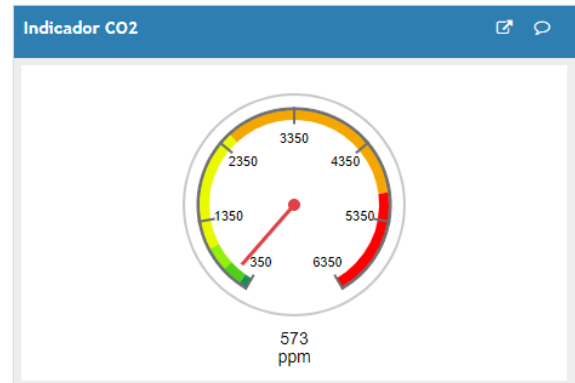
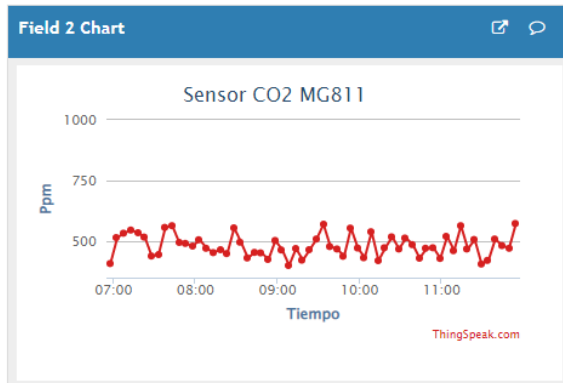
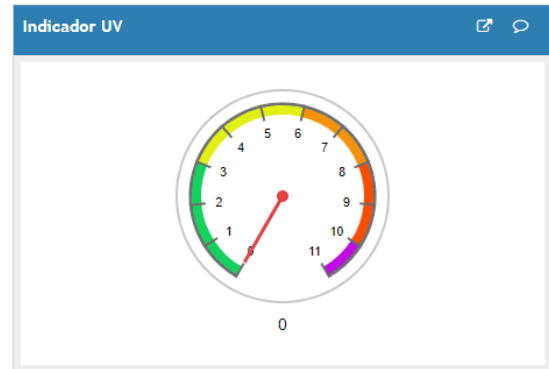
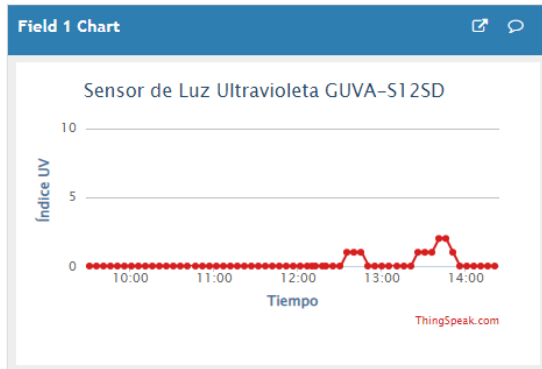
---

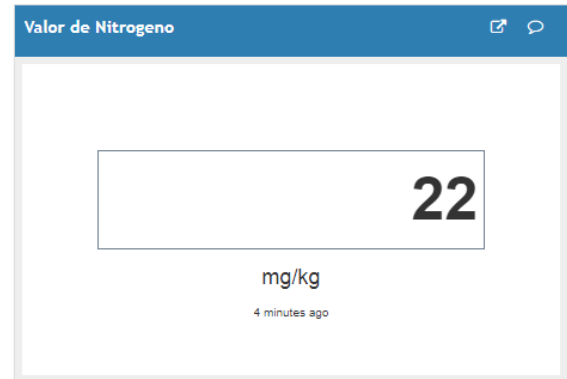
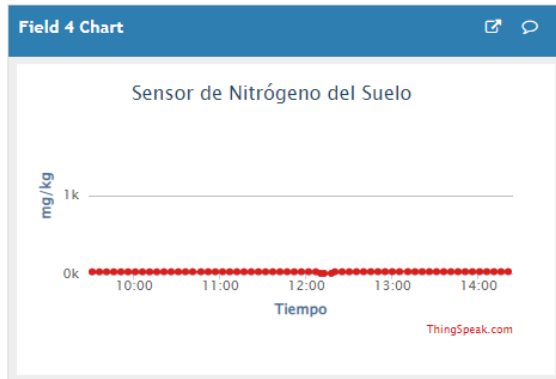
*Nota.* Resultados arrojados en la ventana de monitor serial, del software Arduino.

### **6.3. Representación de los datos adquiridos en la plataforma usada**

Los parámetros adquiridos mediante la plataforma Thingspeak el cual es un proveedor de servicios de IoT, los datos se representarán mediante reportes, histograma, interfaces interactivas, como a su vez realiza conexiones directas a otras aplicaciones dedicadas al usuario. Mediante la adquisición de datos en la plataforma propia de la IoT ThingSpeak, desarrollado en un entorno visual, podremos evidenciarlo para registrar los datos dentro del ambiente con la conexión propia entre el Arduino y módulos de radio frecuencia.

**Figura 73.** Visualización de los datos en la plataforma thingspeak.





**Nota.** Representación de los campos con cada una de las variables en la plataforma de gestión ThingSpeak.

## 6.4. Análisis de los Datos

### 6.4.1. Niveles de Radiación Solar

Durante el proceso de desarrollo del cultivo de maíz requieren de un nivel adecuado de radiación solar, ya que dicha cantidad es usada para el proceso de la fotosíntesis. Pero para el proceso de secado del maíz se requieren grandes cantidades de energía solar para que el grano maduro alcance la madurez fisiológica. De acuerdo a los datos recopilados por el sensor de Uv los niveles de radiación más altos se los encuentra desde las 10:00 hasta las 15:00, de acuerdo a los datos arrojados existen niveles de radiación solar muy altos los cuales podría afectar durante el crecimiento de la plantación y con ello a llegar a tener una producción muy baja.

**Tabla 29.**Banco de datos de radiación solar, tomadas por el sensor durante cinco días.

Tiempo	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
7H00	0	0	0	0	0
7H05	0	0	0	0	0
7H10	0	0	0	0	0
7H15	0	0	0	0	0
7H20	0	0	0	0	0
7H25	0	0	0	0	0
7H30	0	0	0	0	0
7H35	0	0	0	0	0
7H40	0	0	0	0	0
7H45	0	0	0	0	0
7H50	0	0	0	0	0

7H55	0	0	0	0	0
8H00	0	0	0	0	0
8H05	0	0	0	0	0
8H10	0	0	0	0	0
8H15	0	0	0	0	0
8H20	0	0	0	0	0
8H25	0	0	0	0	0
8H30	0	0	0	0	0
8H35	0	0	0	0	0
8H40	0	0	0	0	0
8H45	0	0	0	0	0
8H50	0	0	0	0	0
8H55	0	0	0	0	0
9H00	0	0	0	0	0
9H05	2	0	0	0	0
9H10	2	0	0	0	0
9H15	2	0	0	0	0
9H20	2	0	0	0	0
9H25	2	0	0	0	0
9H30	2	0	0	0	0
9H35	2	0	0	0	0
9H40	2	0	0	0	0
9H45	2	0	0	0	0
9H50	2	0	0	0	0
9H55	2	0	0	0	1
10H00	2	0	0	0	1
10H05	4	2	0	0	1
10h10	4	2	0	0	2
10H15	4	3	0	0	3
10H20	4	3	0	0	3
10H25	4	3	0	2	4
10H30	4	4	0	0	4
10H35	4	3	0	0	4
10H40	4	4	0	0	3
10H45	4	5	0	6	3
10H50	5	3	0	0	3
10H55	5	1	0	2	3
11H00	5	1	0	0	3
11H05	5	1	0	2	4
11H10	6	8	0	1	4
11H15	6	5	0	8	5
11H20	6	0	0	6	6

11H25	6	9	0	2	7
11H30	7	6	0	1	7
11H35	7	0	1	6	7
11H40	7	0	0	0	6
11H45	7	0	0	6	6
11H50	8	0	0	0	7
11H55	8	0	0	3	7
12H00	8	0	1	0	8
12H05	8	0	0	0	8
12H10	8	2	0	0	9
12H15	8	2	0	1	8
12H20	7	1	0	1	8
12H25	8	9	0	1	8
12H30	8	8	0	8	8
12H35	7	8	4	9	9
12H40	8	5	0	8	9
12H45	8	0	0	1	8
12H50	7	0	0	0	7
12H55	8	0	0	0	6
13H00	7	0	0	0	6
13H05	6	6	0	0	6
13H10	6	0	1	0	5
13H15	7	8	1	0	5
13H20	7	6	12	0	5
13H25	8	6	1	0	5
13H30	5	0	5	0	4
13H35	5	7	0	0	4
13H40	6	0	4	8	4
13H45	7	7	1	3	4
13H50	7	1	1	0	5
13H55	5	1	12	1	6
14H00	5	5	7	1	6
14H05	3	5	0	1	5
14H10	6	4	0	1	6
14H15	6	4	6	1	5
14H20	6	4	10	1	5
14H25	7	0	1	3	5
14H30	5	0	6	3	4
14H35	7	0	0	3	4
14H40	3	0	5	3	3
14H45	7	0	6	3	2
14H50	6	1	0	1	2



14H55	6	0	1	1	1
15H00	4	0	7	1	1
15H05	4	0	7	1	2
15H10	4	0	12	0	1
15H15	6	0	0	0	1
15H20	6	0	1	0	0
15H25	6	0	1	0	1
15H30	6	0	1	0	1
15H35	5	0	1	0	1
15H40	5	0	0	0	1
15H45	5	0	0	0	1
15H50	7	0	1	0	1
15H55	7	0	1	0	1
16H00	7	0	1	0	1
16H05	4	0	1	0	1
16H10	6	0	1	0	1
16H15	4	0	0	0	1
16H20	4	0	0	0	0
16H25	4	0	0	0	0
16H30	3	0	0	0	0
16H35	3	0	0	0	0
16H40	3	0	0	0	0
16H45	2	0	0	0	0
16H50	2	0	0	0	0
16H55	2	0	0	0	0
17H00	2	0	0	0	0
17H05	2	0	0	0	0
17H10	2	0	0	0	0
17H15	2	0	0	0	0
17H20	2	0	0	0	0
17H25	2	0	0	0	0
17H30	2	0	0	0	0
17H35	2	0	0	0	0
17H40	2	0	0	0	0
17H45	2	0	0	0	0
17H50	2	0	0	0	0
17H55	1	0	0	0	0
18H00	1	0	0	0	0
18H05	1	0	0	0	0
18H10	1	0	0	0	0
18H15	0	0	0	0	0
18H20	0	0	0	0	0

---

18H25	0	0	0	0	0
18H30	0	0	0	0	0
18H35	0	0	0	0	0
18H40	0	0	0	0	0
18H45	0	0	0	0	0
18H50	0	0	0	0	0
18H55	0	0	0	0	0
19H00	0	0	0	0	0
19H05	0	0	0	0	0
19H10	0	0	0	0	0
19H15	0	0	0	0	0
19H20	0	0	0	0	0
19H25	0	0	0	0	0
19H30	0	0	0	0	0
19H35	0	0	0	0	0
19H40	0	0	0	0	0
19H45	0	0	0	0	0
19H50	0	0	0	0	0
19H55	0	0	0	0	0
20H00	0	0	0	0	0
20H05	0	0	0	0	0
20H10	0	0	0	0	0
20H15	0	0	0	0	0
20H20	0	0	0	0	0
20H25	0	0	0	0	0
20H30	0	0	0	0	0
20H35	0	0	0	0	0
20H40	0	0	0	0	0
20H45	0	0	0	0	0
20H50	0	0	0	0	0
20H55	0	0	0	0	0
21H00	0	0	0	0	0
21H05	0	0	0	0	0
21H10	0	0	0	0	0
21H15	0	0	0	0	0
21H20	0	0	0	0	0
21H25	0	0	0	0	0
21H30	0	0	0	0	0
21H35	0	0	0	0	0
21H40	0	0	0	0	0
21H45	0	0	0	0	0
21H50	0	0	0	0	0

---

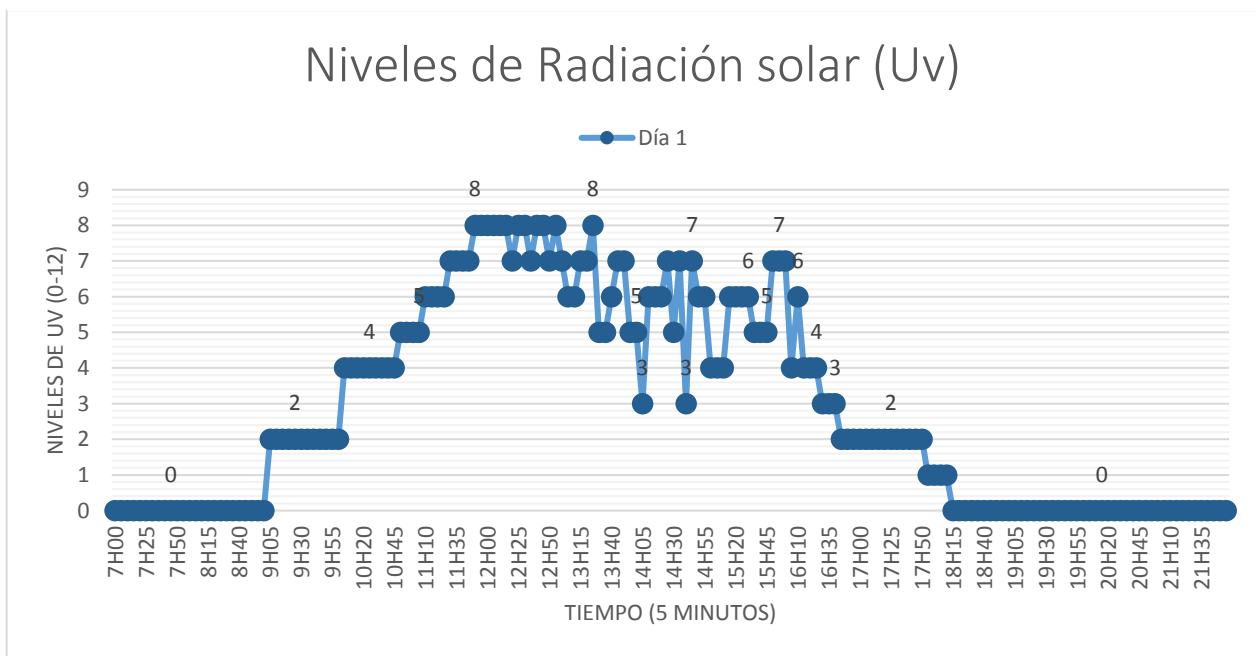
21H55	0	0	0	0	0
-------	---	---	---	---	---

**Nota.** Tabla de los niveles de radiación, durante cinco días en intervalos de cinco minutos.

### 6.4.1.1. Análisis de Radiación Solar Durante el Primer Día

La Figura 74 muestra los niveles de radiación solar registradas durante un día en intervalos de cinco minutos por 15 horas, se puede concluir que los niveles donde presenta mayor incidencia de radiación solar, es desde las 11:35 hasta las 13:15, en donde se registra un nivel Uv de “8” la cual es considerada muy alta.

**Figura 74.** Niveles de radiación solar registradas durante el primer día.

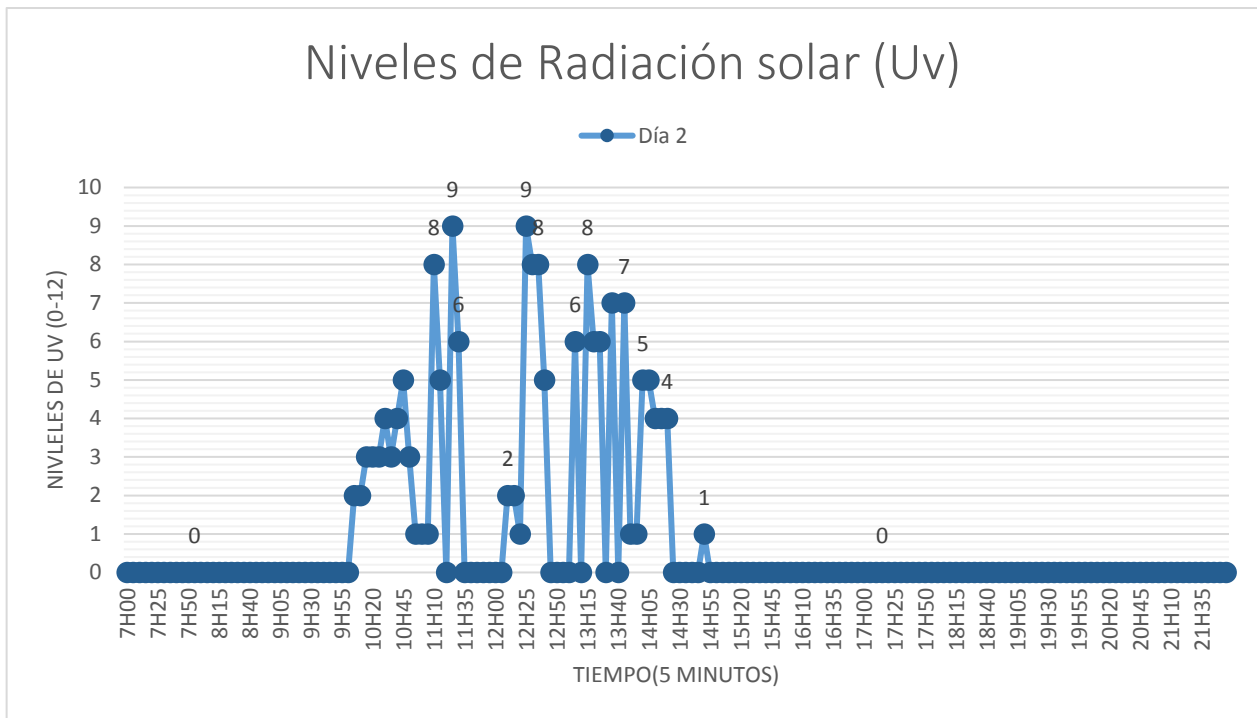


**Nota.** Representación de la incidencia de radiación solar durante un día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de Uv (0-12).

### 6.4.1.2. Análisis de Radiación Solar Durante el Segundo Día

La Figura 75 muestra los niveles de radiación solar registradas durante el segundo día de recolección de datos, en intervalos de cinco minutos por 15 horas, los niveles de mayor índice Uv registrados se encuentran comprendidos desde las 11:00 hasta las 13:15 en donde se puede observar que se tiene niveles de Uv de “8” y “9” lo cual son considerados muy altos.

**Figura 75.** Niveles de radiación solar registradas durante el segundo día.

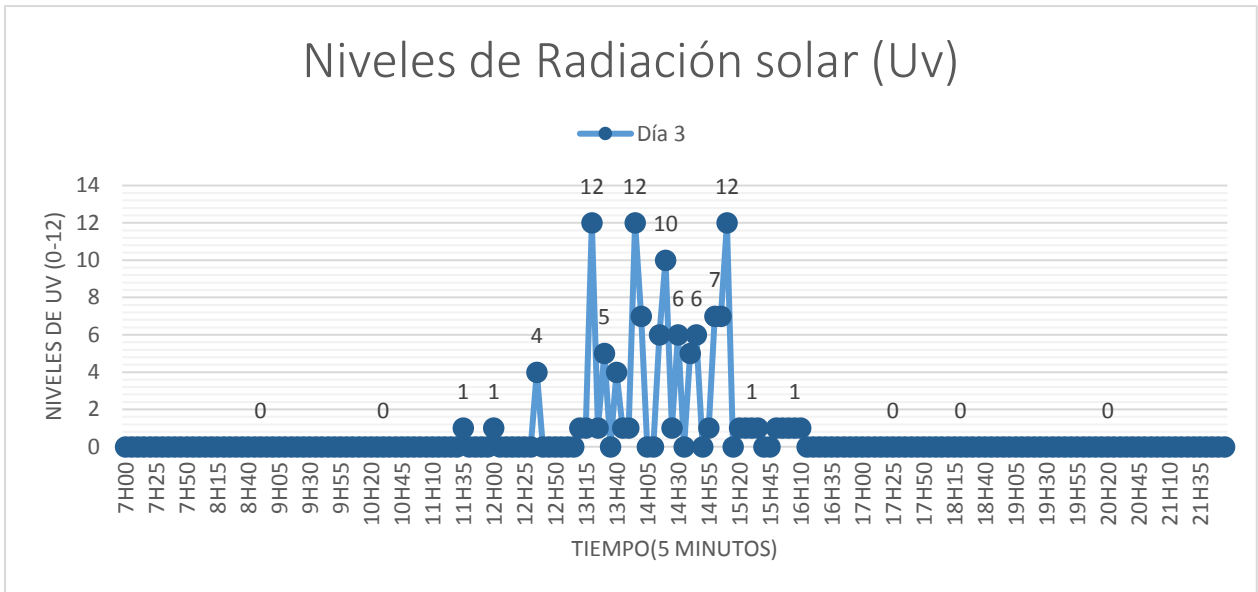


**Nota.** Representación de la incidencia de radiación solar durante el segundo día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de Uv (0-12).

### 6.4.1.3. Análisis de Radiación Solar Durante el Tercer Día

La Figura 76 muestra los niveles de radiación solar registradas durante el tercer día de recolección de datos, en intervalos de cinco minutos por 15 horas, los niveles de mayor índice Uv registrados se encuentran comprendidos desde las 13:15 hasta las 15:00 donde podemos observar que se tiene niveles de Uv de “12” y “10” los cuales son considerados extremadamente altos.

**Figura 76.** Niveles de radiación solar registradas durante el tercer día.

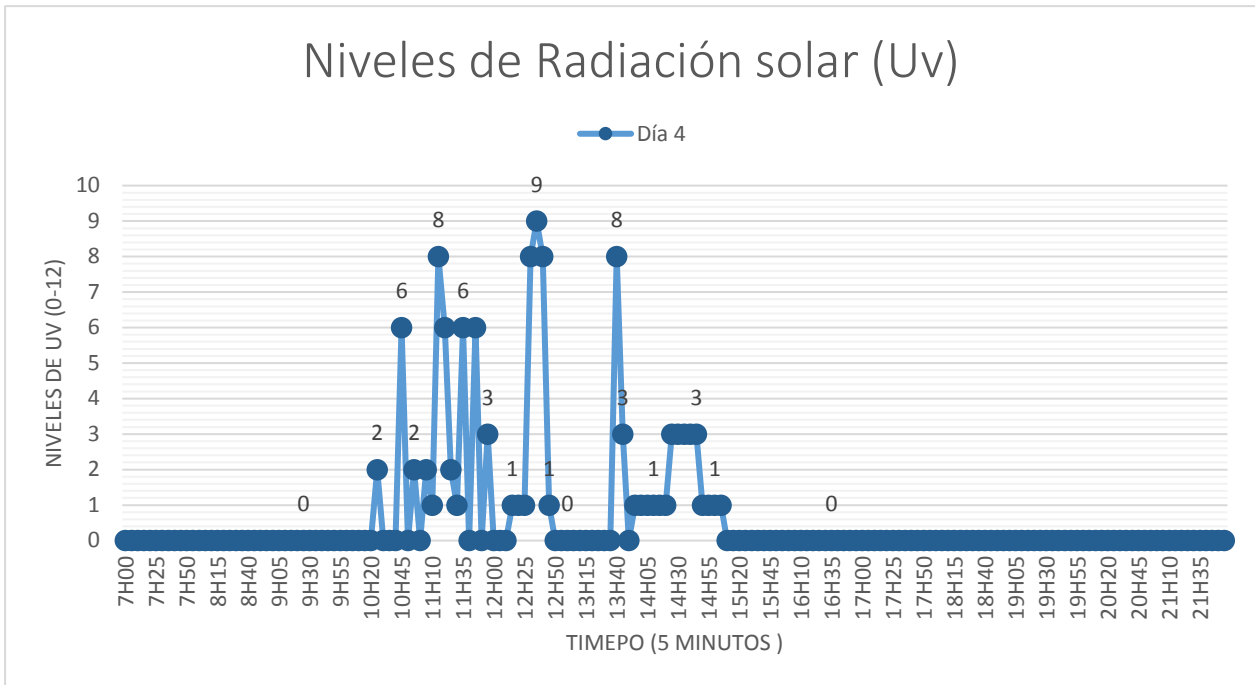


*Nota.* Representación de la incidencia de radiación solar durante el tercer día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de Uv (0-12).

#### 6.4.1.4. Análisis Radiación Solar Durante el Cuarto Día

La Figura 77 muestra los niveles de radiación solar registradas durante el cuarto día de recolección de datos, en intervalos de cinco minutos por 15 horas, los niveles de mayor índice Uv registrados se encuentran comprendidos desde las 10:45 hasta las 13:45 en donde se puede observar que se tiene niveles Uv de “8” y “9” los cuales son considerados muy altos.

**Figura 77.** Niveles de radiación solar registradas durante el cuarto día.

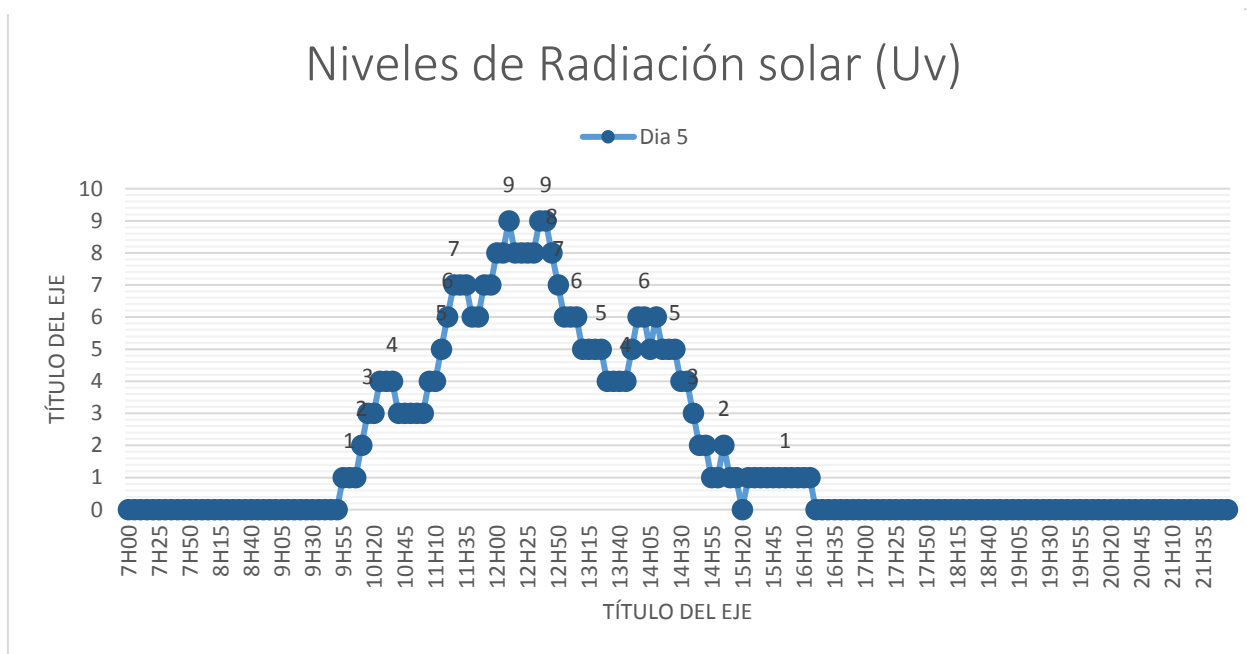


**Nota.** representación de la incidencia de radiación solar durante el tercer día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de Uv (0-12).

#### 6.4.1.5. Análisis Radiación Solar Durante el Quinto Día.

La Figura 78 muestra los niveles de radiación solar registradas durante el quinto día de recolección de datos, en intervalos de cinco minutos por 15 horas, los niveles de mayor índice Uv registrados se encuentran comprendidos desde las 12:00 hasta las 13:00 en donde se puede observar que se tiene un nivel Uv de “9” los cuales son considerados muy altos como también existen niveles de “5” los cuales son considerados niveles moderados.

**Figura 78.** Niveles de radiación solar registradas durante el quinto día.



**Nota.** Representación de la incidencia de radiación solar durante el quinto día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de Uv (0-12).

#### 6.4.2. Niveles de Dióxido de Carbono

Los niveles de dióxido de carbono tienen como unidad de medida la ppm (Partes por millón). Como se puede observar los datos recogidos por el sensor de dióxido de carbono se registran en el rango de 400 a 600 ppm, como a la vez se puede apreciar que existen altos niveles de dióxido de carbono.

**Tabla 30**

Datos recolectados de dióxido de carbono, tomadas por el sensor durante cinco días.

<b>Tiempo</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>
7H00	444	408	471	525	451
7H05	445	506	441	539	461
7H10	447	546	471	425	471
7H15	350	450	466	443	466
7H20	444	484	466	539	466
7H25	416	515	464	472	464
7H30	397	497	421	422	421
7H35	397	539	465	497	465
7H40	416	462	487	438	487
7H45	368	587	459	564	459
7H50	368	480	422	591	422
7H55	368	465	462	452	462
8H00	397	451	425	496	425
8H05	368	482	461	537	461
8H10	397	501	402	504	402
8H15	368	562	443	534	443
8H20	444	521	457	438	457
8H25	368	495	497	454	497
8H30	350	563	491	564	491
8H35	350	481	415	452	415
8H40	350	512	439	548	439
8H45	416	574	465	557	465
8H50	444	485	409	545	409
8H55	444	501	465	557	465
9H00	444	530	499	471	499
9H05	444	596	444	532	444
9H10	427	489	521	529	521
9H15	427	573	423	474	423
9H20	427	563	544	536	544
9H25	427	548	465	564	465
9H30	427	584	519	587	519
9H35	427	477	469	428	469
9H40	427	513	468	431	468
9H45	427	501	482	434	482
9H50	427	465	414	542	414
9H55	427	561	405	515	405
10H00	427	521	477	466	477



10H05	427	539	414	446	414
10h10	427	442	514	494	514
10H15	427	438	401	426	401
10H20	425	472	488	490	488
10H25	436	456	492	596	492
10H30	427	520	518	558	518
10H35	428	498	474	574	474
10H40	422	412	479	419	479
10H45	436	484	458	470	458
10H50	456	560	573	449	573
10H55	383	505	514	538	514
11H00	382	463	412	548	412
11H05	483	512	521	525	521
11H10	496	499	433	465	433
11H15	510	447	504	546	504
11H20	424	507	488	478	488
11H25	482	468	449	486	449
11H30	370	482	502	610	502
11H35	391	535	467	510	467
11H40	398	525	507	573	507
11H45	390	464	468	447	468
11H50	393	520	489	541	489
11H55	403	543	412	456	412
12H00	377	409	428	501	428
12H05	419	473	485	427	485
12H10	441	494	441	446	441
12H15	407	561	585	450	585
12H20	480	476	440	472	440
12H25	496	474	510	442	510
12H30	414	506	488	454	488
12H35	465	546	513	430	513
12H40	481	450	516	433	516
12H45	472	484	460	505	460
12H50	393	515	444	545	444
12H55	389	497	503	513	503
13H00	373	539	500	482	500
13H05	497	462	494	513	494
13H10	451	587	527	473	527
13H15	446	480	439	515	439
13H20	447	465	464	518	464
13H25	719	451	427	500	427
13H30	722	482	501	455	501

13H35	450	501	470	453	470
13H40	413	562	441	509	441
13H45	515	521	545	548	545
13H50	445	495	485	504	485
13H55	455	563	489	471	489
14H00	481	481	474	469	474
14H05	633	512	520	484	520
14H10	524	574	415	443	415
14H15	429	485	450	596	450
14H20	473	501	437	571	437
14H25	387	530	445	518	445
14H30	511	596	487	446	487
14H35	480	489	400	532	400
14H40	455	573	469	613	469
14H45	422	563	498	541	498
14H50	428	548	517	553	517
14H55	425	584	460	473	460
15H00	501	477	492	450	492
15H05	383	513	468	485	468
15H10	537	501	544	424	544
15H15	595	465	465	464	465
15H20	478	561	422	540	422
15H25	505	521	482	467	482
15H30	606	539	475	476	475
15H35	501	442	447	466	447
15H40	499	438	462	451	462
15H45	474	472	407	419	407
15H50	559	456	487	444	487
15H55	528	520	481	432	481
16H00	508	498	482	461	482
16H05	653	412	477	470	477
16H10	682	484	457	444	457
16H15	495	560	403	441	403
16H20	535	505	489	497	489
16H25	549	463	511	465	511
16H30	615	512	465	470	465
16H35	473	499	455	470	455
16H40	453	447	483	405	483
16H45	684	507	469	452	469
16H50	494	468	455	449	455
16H55	495	482	541	433	541
17H00	483	535	463	463	463

17H05	515	525	403	437	403
17H10	420	464	456	520	456
17H15	779	520	519	505	519
17H20	446	543	465	442	465
17H25	576	409	473	579	473
17H30	424	473	478	403	478
17H35	473	494	603	439	603
17H40	417	561	524	498	524
17H45	486	476	515	529	515
17H50	481	474	514	518	514
17H55	565	486	497	560	497
18H00	895	454	448	428	448
18H05	519	516	465	471	465
18H10	476	494	574	508	574
18H15	565	493	462	578	462
18H20	418	481	446	519	446
18H25	778	523	500	540	500
18H30	424	459	558	546	558
18H35	461	501	533	498	533
18H40	424	490	499	535	499
18H45	526	489	580	601	580
18H50	623	549	474	538	474
18H55	474	438	464	459	464
19H00	562	443	541	420	541
19H05	502	408	531	468	531
19H10	766	480	525	437	525
19H15	665	510	568	450	568
19H20	518	515	447	437	447
19H25	481	408	505	530	505
19H30	496	454	500	430	500
19H35	601	520	536	437	536
19H40	423	488	500	504	500
19H45	570	499	584	496	584
19H50	826	440	450	498	450
19H55	623	449	432	552	432
20H00	637	487	442	423	442
20H05	435	452	595	538	595
20H10	467	575	470	501	470
20H15	636	482	560	549	560
20H20	797	515	590	463	590
20H25	848	424	531	543	531
20H30	425	507	537	475	537

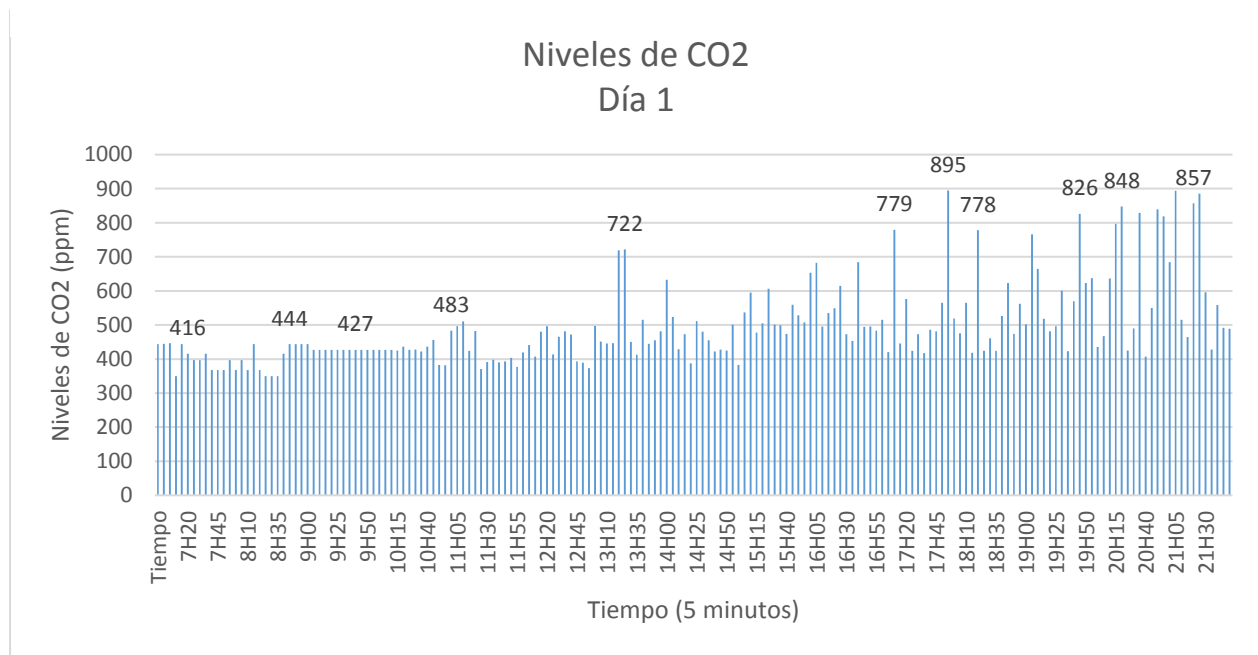
20H35	490	482	527	472	527
20H40	829	465	501	446	501
20H45	407	444	521	549	521
20H50	550	509	447	548	447
20H55	839	506	421	488	421
21H00	819	499	456	566	456
21H05	684	512	495	557	486
21H10	894	519	456	471	610
21H15	515	517	425	532	510
21H20	464	454	426	529	573
21H25	857	449	434	474	447
21H30	885	479	472	536	541
21H35	596	469	442	564	456
21H40	428	496	454	587	501
21H45	558	465	430	428	427
21H50	492	453	433	431	446
21H55	489	495	505	434	450

**Nota.** Niveles de dióxido de carbono, durante cinco días en intervalos de cinco minutos.

#### **6.4.2.1. Análisis de CO2 Durante el Primer Día**

La Figura 79 representa los niveles de dióxido de carbono que se registraron durante un día, se puede observar en la gráfica que los niveles aumentaron desde 17:20 hasta las 21:30 esto referente ya que en el día se realizaron control de plagas esto quiere decir ya que por el uso de agroquímicos esta sustancia queda en el aire y esta a su vez es captada por el sensor lo que provoca que los niveles de dióxido de carbono aumenten.

**Figura 79.** Niveles de CO2 registradas durante el primer día.

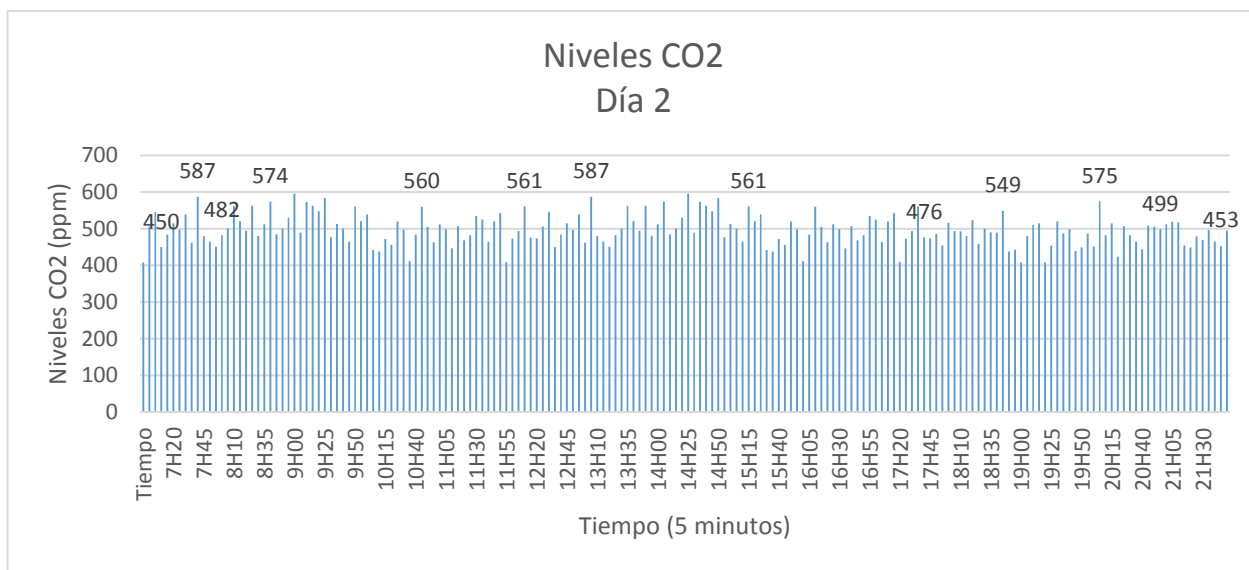


**Nota.** Incidencia de dióxido de carbono durante el primer día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de CO2 (0-1000 ppm).

#### **6.4.2.2. Análisis de CO2 Durante los Cuatro Días**

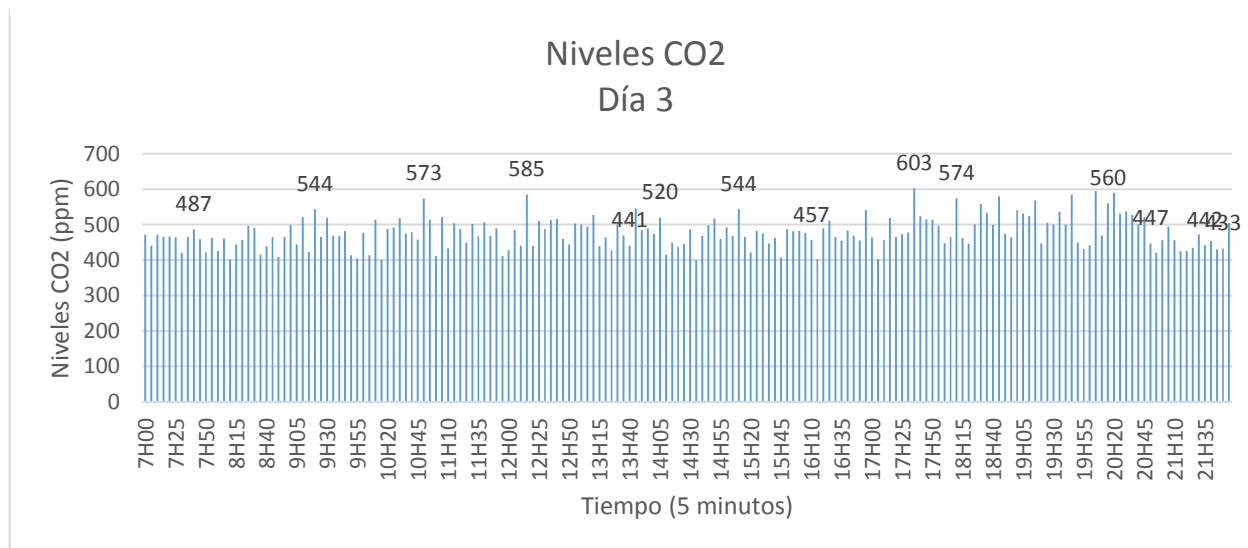
Los datos interpretados por la graficas muestran los niveles de dióxido de carbono de los cuatro días donde no existe mayor alteración de dichos niveles, ya que se mantienen en los rangos considerados normales (400 -600 ppm).

**Figura 81.** Niveles de CO2 registradas durante el segundo día.



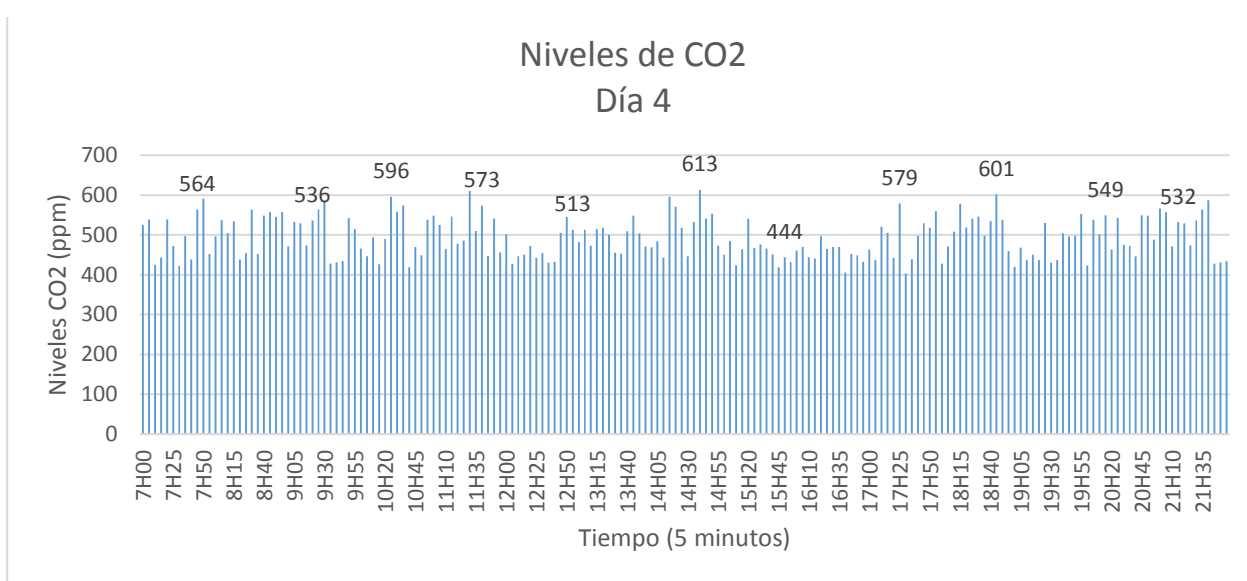
**Nota.** Incidencia de dióxido de carbono durante el segundo día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de CO2 (0-1000 ppm).

**Figura 80.** Niveles de CO2 registradas durante el tercer día.



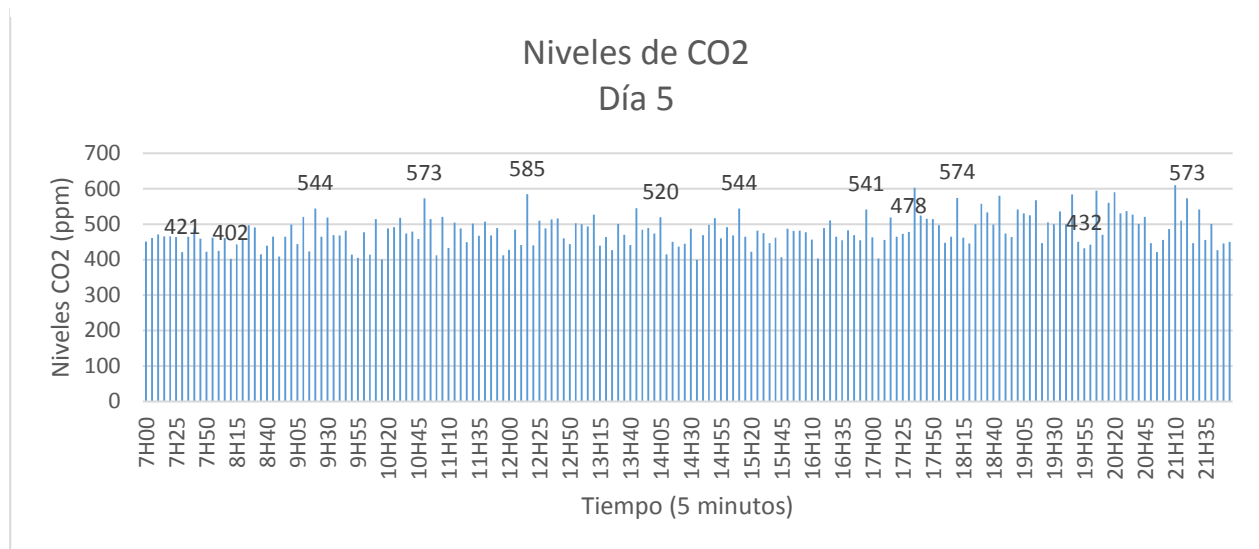
**Nota.** Incidencia de dióxido de carbono durante el tercer día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de CO2 (0-1000 ppm).

**Figura 82.** Niveles de CO2 registradas durante el cuarto día.



**Nota.** Incidencia de dióxido de carbono durante el cuarto día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de CO2 (0-1000 ppm).

**Figura 83.** Niveles de CO2 registradas durante el quinto día.



**Nota.** Incidencia de dióxido de carbono durante el quinto día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de CO2 (0-1000 ppm).

### 6.4.3. Niveles de pH

El maíz se adapta a una amplia variedad de suelos donde puede producir buenas cosechas si se emplean técnicas de cultivo apropiadas. En General, los suelos más idóneos para el cultivo de maíz son los de textura media(francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención de agua. El maíz, se desarrolla favorablemente en suelos con pH entre 5,5 y 7,8. Fuera de estos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce toxicidad o carencia (Becker et al., 2015).

Cómo se puede observar en el banco de datos obtenidos por nuestro sensor se puede inferir que el promedio de pH en los predios de la asociación Agropecuaria Guacacocha son óptimos para los cultivos de maíz.

**Tabla 31** Datos recolectados del pH del suelo, tomadas por el sensor durante cinco días.

Tiempo	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
7H00	5,21	6,94	4,64	6,51	6,75
7H05	5,26	6,95	4,63	6,52	6,73



7H10	5,23	6,96	4,65	6,55	6,7
7H15	5,17	6,94	4,62	6,55	6,76
7H20	5,24	6,9	4,65	6,55	6,76
7H25	5,26	6,85	4,64	6,55	6,76
7H30	5,23	7,02	4,61	6,55	6,76
7H35	5,36	7,23	4,6	6,55	6,71
7H40	5,29	7,46	4,64	6,55	6,76
7H45	5,36	7,58	4,58	6,51	6,71
7H50	5,28	7,46	4,73	6,56	6,76
7H55	5,35	7,45	4,73	6,55	6,75
8H00	5,34	7,36	4,73	6,66	6,71
8H05	5,43	7,38	4,64	6,56	6,75
8H10	5,55	7,56	4,73	6,52	6,69
8H15	5,47	7,57	4,74	6,55	6,7
8H20	5,54	7,56	4,75	6,53	6,75
8H25	5,55	7,57	4,75	6,55	6,63
8H30	5,65	7,55	4,73	6,55	6,76
8H35	5,65	7,46	4,64	6,55	6,69
8H40	5,57	7,46	4,65	6,52	6,75
8H45	5,6	7,45	4,54	6,5	6,76
8H50	5,65	7,43	4,64	6,55	6,76
8H55	5,62	7,45	4,56	6,65	6,75
9H00	5,65	7,43	4,65	6,65	6,7
9H05	5,6	7,42	4,65	6,58	6,76
9H10	5,63	7,35	4,65	6,66	6,76
9H15	5,64	7,36	4,55	6,65	6,7
9H20	5,67	8,14	4,63	6,65	6,75
9H25	5,74	7,82	4,65	6,66	6,75
9H30	5,75	7,56	4,65	6,62	6,79
9H35	5,74	7,47	4,6	6,65	6,85
9H40	5,75	7,45	4,74	6,66	6,85
9H45	5,74	7,38	4,74	6,65	6,85
9H50	5,68	6,68	4,74	6,65	6,85
9H55	5,75	0	4,82	6,58	6,85
10H00	5,74	6,72	4,8	6,66	6,85
10H05	5,73	6,75	4,85	6,6	6,86
10h10	5,74	6,75	4,94	6,58	6,81
10H15	5,72	6,75	4,95	6,62	6,81
10H20	5,69	6,76	4,96	6,6	6,86
10H25	5,76	6,75	5,04	6,65	6,83
10H30	5,71	6,75	5,04	6,66	6,85
10H35	5,73	6,75	5,06	6,62	6,86

10H40	5,75	6,74	5,05	6,65	6,77
10H45	5,72	6,77	5,06	6,65	6,86
10H50	5,64	6,73	5,11	6,61	6,85
10H55	5,35	6,77	5,15	6,66	6,85
11H00	5,05	4,65	5,15	6,65	6,85
11H05	5,13	4,65	5,12	6,66	6,92
11H10	5,04	4,61	5,15	6,6	6,95
11H15	5,12	4,64	5,06	6,66	6,91
11H20	5,12	4,62	5,15	6,61	6,95
11H25	4,98	4,65	5,11	6,66	6,95
11H30	5,01	4,65	5,11	6,75	6,96
11H35	4,94	4,64	5,15	6,75	6,95
11H40	4,84	4,65	5,16	6,75	6,95
11H45	4,95	4,62	5,15	6,75	6,96
11H50	4,64	4,61	5,13	6,66	6,95
11H55	4,59	4,64	6,14	6,76	6,96
12H00	4,74	4,66	6,11	6,76	6,86
12H05	4,7	4,75	6,09	6,75	6,85
12H10	4,64	4,75	6,06	6,7	6,79
12H15	4,69	4,75	6,13	6,71	6,81
12H20	4,72	4,7	6,12	6,76	6,85
12H25	4,64	4,76	6,13	6,76	6,81
12H30	4,64	4,71	6,06	6,75	6,86
12H35	4,73	4,76	6,16	6,75	6,85
12H40	4,68	4,74	6,16	6,72	6,85
12H45	4,84	4,75	6,16	6,73	6,85
12H50	4,92	4,76	6,16	6,76	6,96
12H55	5,05	4,74	6,26	6,76	6,96
13H00	4,88	4,75	6,21	6,71	6,95
13H05	4,82	4,71	6,26	6,71	6,93
13H10	4,85	4,74	6,26	6,68	6,96
13H15	4,74	4,74	6,19	6,76	6,96
13H20	4,74	4,85	6,26	6,69	6,87
13H25	4,77	4,85	6,26	6,76	6,95
13H30	4,66	4,81	6,26	6,67	6,96
13H35	4,73	4,85	6,26	6,67	6,93
13H40	4,64	4,83	6,24	6,75	6,96
13H45	4,64	4,82	6,23	6,72	6,96
13H50	4,54	4,84	6,18	6,7	6,91
13H55	4,51	4,75	6,32	6,7	6,95
14H00	4,5	4,76	6,36	6,7	6,96
14H05	4,54	4,83	6,34	6,75	6,95

14H10	4,44	4,86	6,36	6,76	6,95
14H15	4,41	4,84	6,26	6,65	6,96
14H20	4,44	4,79	6,36	6,72	6,96
14H25	4,44	4,78	6,36	6,76	6,96
14H30	4,44	4,95	6,34	6,76	6,95
14H35	4,43	4,94	6,36	6,66	6,96
14H40	4,41	4,9	6,36	6,6	6,96
14H45	4,44	4,85	6,46	6,66	6,96
14H50	4,44	4,95	6,4	6,65	6,93
14H55	4,41	5,05	6,46	6,61	6,96
15H00	4,57	5,05	6,36	6,66	6,96
15H05	4,6	5,05	6,27	6,6	6,96
15H10	4,63	5,05	6,34	6,66	6,95
15H15	4,7	5,04	6,36	6,66	6,86
15H20	4,75	5,05	6,36	6,65	6,96
15H25	4,71	5,01	6,46	6,58	6,9
15H30	4,71	5,04	6,42	6,66	6,88
15H35	4,75	5,04	6,36	6,63	6,85
15H40	4,73	5,05	6,46	6,66	5,91
15H45	4,73	5,06	6,46	6,66	5,95
15H50	4,74	5,04	6,46	6,65	5,96
15H55	4,84	5,04	6,41	6,66	5,95
16H00	4,77	5,05	6,36	6,66	5,95
16H05	4,85	5,15	6,42	6,65	5,95
16H10	4,94	5,1	6,46	6,65	5,95
16H15	4,85	5,06	6,4	6,66	5,95
16H20	4,95	5,13	6,32	6,56	5,95
16H25	4,91	5,15	6,27	6,61	5,9
16H30	4,95	5,09	6,36	6,62	5,93
16H35	4,83	5,11	6,3	6,65	5,89
16H40	4,84	5,13	6,33	6,65	5,91
16H45	4,95	5,15	6,19	6,57	5,96
16H50	4,91	5,11	6,21	6,65	5,9
16H55	4,84	5,15	6,26	6,6	5,92
17H00	4,94	5,14	6,26	6,65	5,95
17H05	4,82	5,12	6,23	6,66	5,85
17H10	4,84	5,09	6,14	6,65	5,95
17H15	4,84	5,11	6,16	6,65	5,91
17H20	4,71	5,12	6,16	6,61	5,95
17H25	4,74	5,15	6,16	6,65	5,95
17H30	4,71	5,1	6,14	6,61	5,95
17H35	4,85	5,13	6,16	6,58	5,91

17H40	4,74	5,04	6,14	6,6	5,95
17H45	4,74	5,15	6,14	6,57	5,85
17H50	4,58	5,14	6,06	6,61	5,85
17H55	4,65	5,22	6,06	6,61	5,85
18H00	4,64	5,24	6,06	6,62	5,79
18H05	4,64	5,24	4,99	6,66	5,85
18H10	4,61	5,25	6,06	6,61	5,85
18H15	4,63	5,25	6,04	6,55	5,85
18H20	4,58	5,26	4,96	6,66	5,77
18H25	4,65	5,25	4,93	6,66	5,83
18H30	4,64	5,25	4,96	6,66	5,85
18H35	4,74	5,15	4,94	6,65	5,78
18H40	4,74	5,1	4,96	6,66	5,77
18H45	4,61	5,15	4,86	6,65	5,85
18H50	4,57	5,06	4,86	6,61	5,85
18H55	4,63	5,21	4,84	6,66	5,85
19H00	4,58	5,25	4,86	6,65	5,81
19H05	4,75	5,15	4,77	6,65	5,81
19H10	4,6	5,23	4,84	6,65	5,82
19H15	4,64	5,23	4,84	6,65	5,85
19H20	4,74	5,23	4,84	6,65	5,85
19H25	4,71	5,22	4,76	6,61	5,82
19H30	4,71	5,24	4,76	6,66	5,85
19H35	4,65	5,26	4,76	6,63	5,83
19H40	4,6	5,24	4,76	6,56	5,85
19H45	4,64	5,25	4,71	6,65	5,77
19H50	4,63	5,26	4,71	6,61	5,81
19H55	4,3	5,26	4,74	6,65	5,85
20H00	4,24	5,24	5,76	6,66	5,82
20H05	4,2	5,29	5,75	6,6	5,85
20H10	4,2	5,35	5,75	6,66	5,85
20H15	4,24	5,33	5,75	6,65	5,85
20H20	4,24	5,36	5,75	6,66	5,85
20H25	4,24	5,35	5,65	6,6	5,75
20H30	4,34	5,35	5,75	6,62	5,75
20H35	4,33	5,36	5,76	6,66	5,75
20H40	4,33	5,29	5,75	6,65	5,75
20H45	4,25	5,36	5,75	6,62	5,75
20H50	4,23	5,36	5,69	6,61	5,75
20H55	4,2	5,25	5,75	6,57	5,75
21H00	4,23	5,26	5,75	6,6	5,75
21H05	4,65	5,17	5,75	6,63	5,75

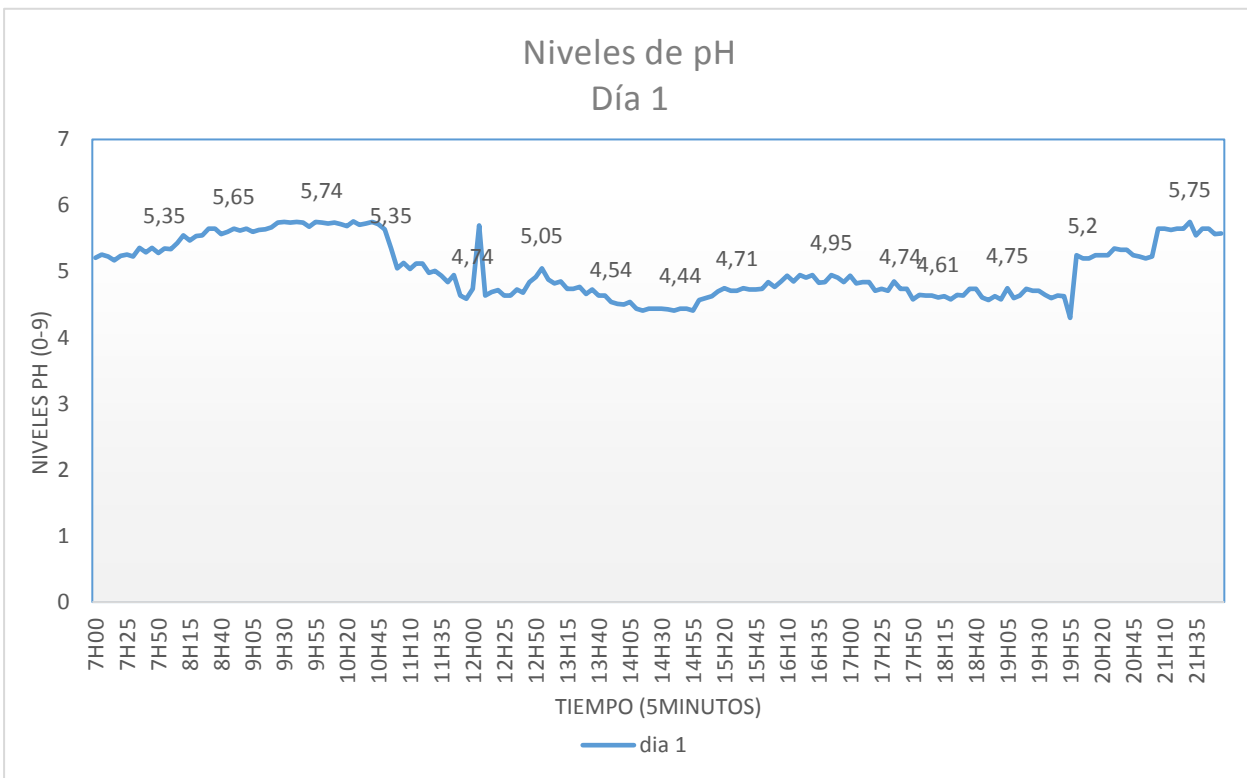
21H10	4,64	5,24	5,75	6,61	5,75
21H15	4,63	5,25	5,71	6,6	5,85
21H20	4,64	5,24	5,75	6,6	5,85
21H25	4,65	5,35	5,75	6,7	5,85
21H30	4,74	5,31	5,75	6,65	5,85
21H35	4,55	5,35	5,75	6,58	5,85
21H40	4,65	5,25	5,75	6,66	5,95
21H45	4,65	5,16	6,21	6,65	5,93
21H50	4,57	5,36	7,12	6,65	5,95
21H55	4,58	5,36	6,64	6,66	5,95

*Nota.* Niveles de pH del suelo, durante cinco días en intervalos de cinco minutos.

#### **6.4.3.1. Análisis del pH Durante el Primer Día.**

La Figura 84 representa los niveles de pH registrados durante un día, los datos fueron tomados en intervalos de 5 minutos durante 15 horas pudiendo verificar que los antecedentes se vienen dando en un rango de (4-6 pH) dando un promedio de todo el día de 5,40 pH lo cual se encuentran en un rango aceptable.

**Figura 84.** Niveles de pH registradas durante un día.

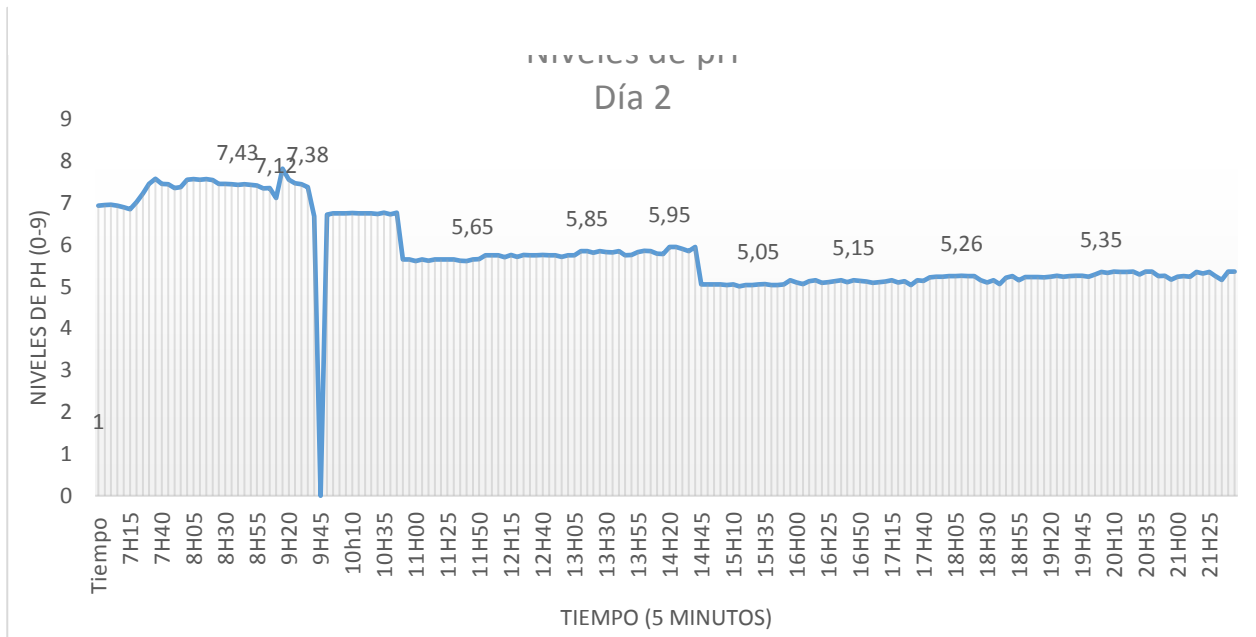


**Nota.** Visualización de los niveles de pH durante el primer día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de pH (0-9 pH).

#### 6.4.3.2. Análisis del pH Durante el Segundo Día.

La Figura 85 representa los niveles de pH registrados durante el segundo día, los datos fueron tomados en intervalos de 5 minutos durante 15 horas pudiendo verificar que los antecedentes se vienen dando en un rango de (5-7 pH) dando un promedio de todo el día de 5,82 pH lo cual se encuentran en un rango aceptable.

**Figura 85.** Niveles de pH registradas durante el segundo día.

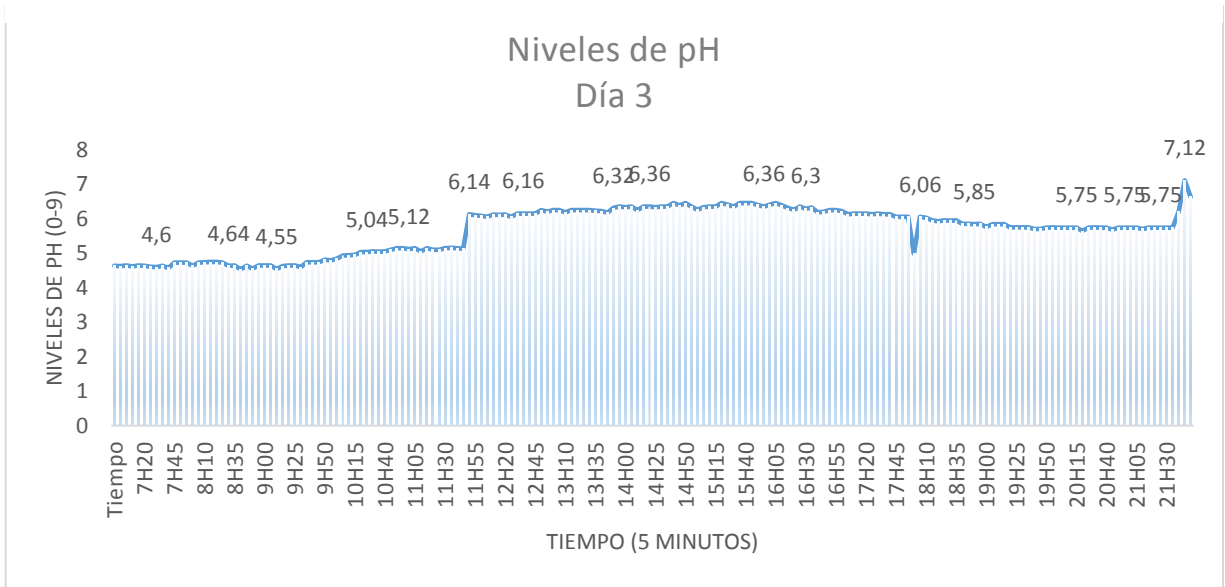


**Nota.** Visualización de los niveles de pH durante el segundo día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de pH (0-9 pH).

#### 6.4.3.3. Análisis del pH Durante el Tercer Día.

La Figura 86 representa los niveles de pH registrados durante el, los datos fueron tomados en intervalos de 5 minutos durante 15 horas pudiendo verificar que los antecedentes se vienen dando en un rango de (4-7 pH) dando un promedio de todo el día de 5,67 pH lo cual se encuentran en el rango de pH aceptable.

**Figura 86.** Niveles de pH registradas durante el tercer día.



**Nota.** Visualización de los niveles de pH durante el tercer día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de pH (0-9 pH).

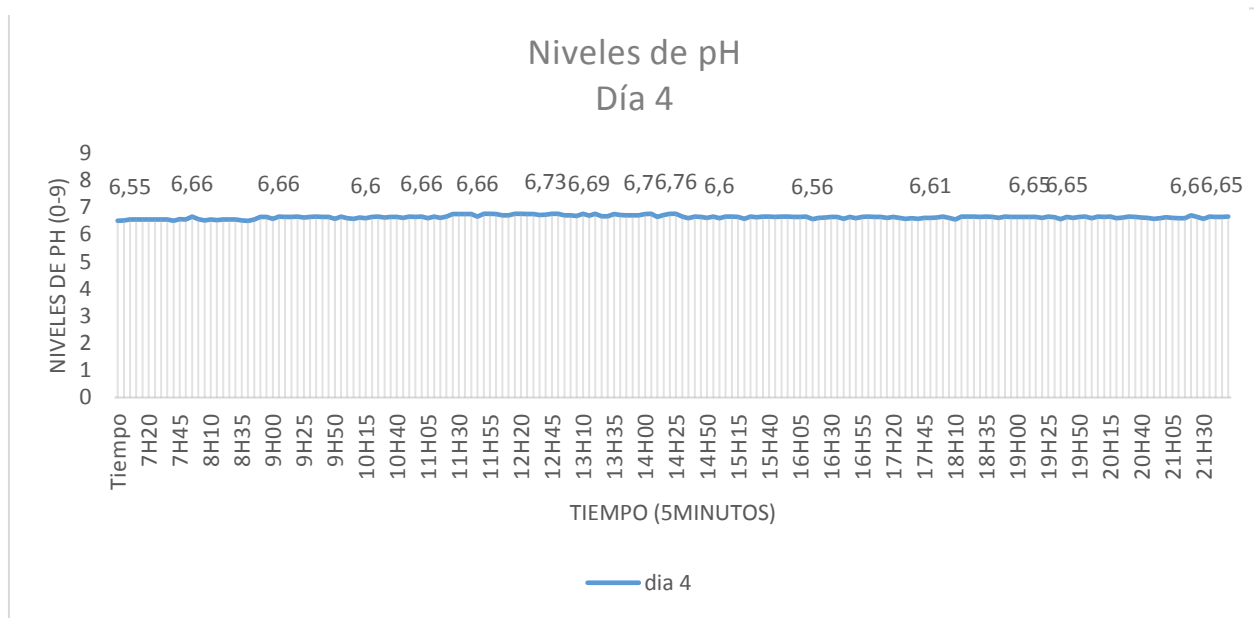
#### **6.4.3.4. Análisis del pH Durante el Cuarto Día.**

La Figura 87 representa los niveles de pH registradas durante el cuarto día, los datos fueron tomadas en intervalos de 5 minutos durante 15 horas pudiendo verificar que los antecedentes se



vienen dando en un rango de (6,1-6,9) dando un promedio de 6,64 pH lo cual se encuentra en un rango aceptable.

**Figura 87.** Niveles de pH registradas durante el cuarto día.

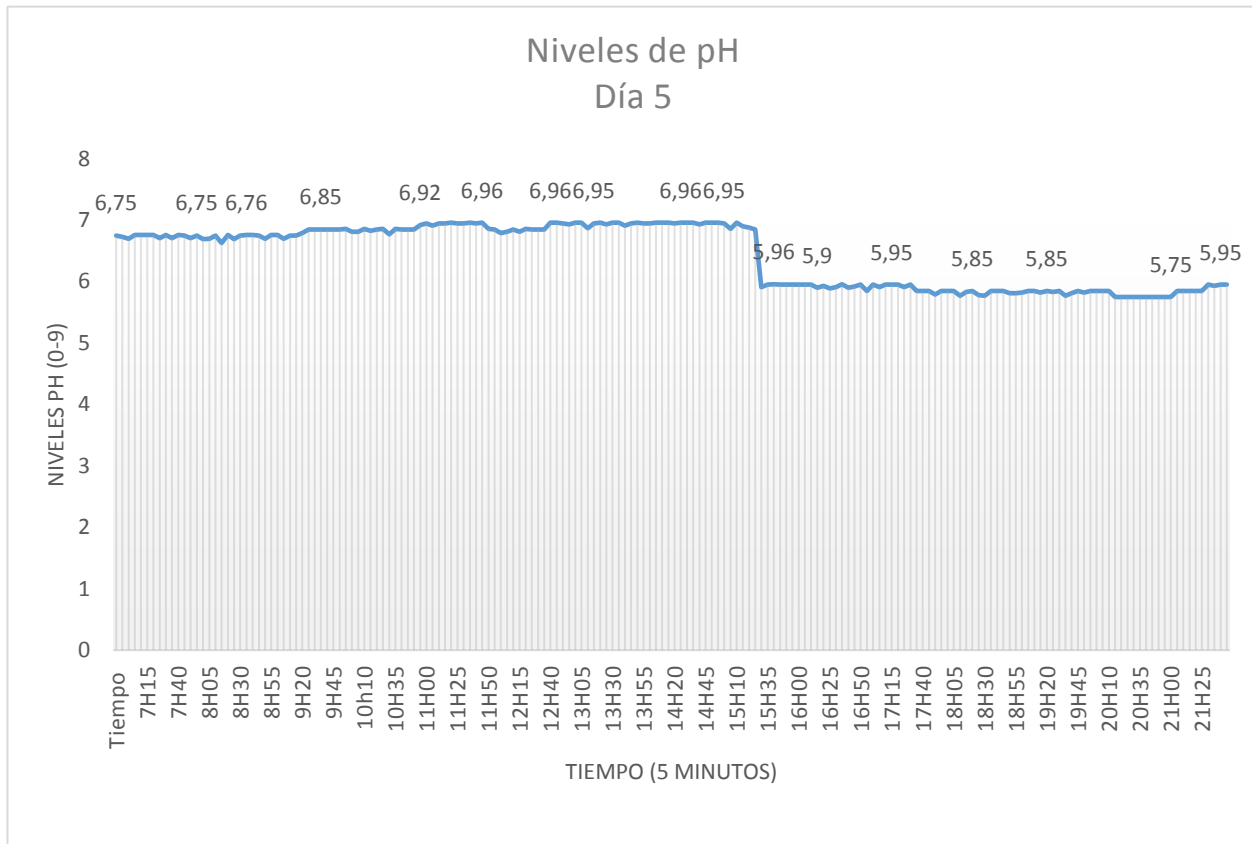


**Nota.** Visualización de los niveles de pH durante el cuarto día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de pH (0-9 pH).

#### 6.4.3.5. Análisis del pH Durante el Quinto Día.

La Figura 88 representa los niveles de pH registrados durante el quinto día, los datos fueron tomados en intervalos de 5 minutos durante 15 horas pudiendo verificar que los antecedentes se vienen dando en un rango de (4-7 pH) dando un promedio de todo el día de 5,67 pH lo cual se encuentran en un rango aceptable.

**Figura 88.** Niveles de pH registrados durante el quinto día.



**Nota.** Visualización de los niveles de pH durante el quinto día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de pH (0-9 pH).

#### 6.4.4. Niveles de Nitrógeno

La unidad de medida de los niveles de nitrógenos es mg/kg, por lo consiguiente los datos obtenidos por nuestro sensor han sido valores que vienen correspondiendo al rango de los 7 a 11 mg/kg, y de acuerdo a un artículo científico de la revista agritotal.com en su plan de fertilización en maíz, en el apartado de manejo de la fertilización nitrogenada manifiesta. “Que, en varias regiones maiceras, se ha establecido que un valor de alrededor de 18 a 20 mg/kg de nitrógeno en esas condiciones, es indicador de suficiencia, ofreciendo bajas posibilidades de respuesta económica al agregado de nitrógeno como fertilizante” por tal motivo podemos concluir que los

niveles de nitrógeno en los predios de la Asociación Guacacocho son poco óptimos para el desarrollo del mismo a lo que se recomienda un plan de fertilización de acuerdo a los valores obtenidos.

**Tabla 32.** Datos recolectados del nitrógeno del suelo, tomadas por el sensor durante cinco días.

<b>Tiempo</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>
7H00	7	9	10	11	9
7H05	7	9	10	11	9
7H10	7	9	10	11	9
7H15	7	9	10	11	9
7H20	7	9	10	11	9
7H25	7	9	10	11	9
7H30	7	9	10	11	9
7H35	7	9	10	11	9
7H40	7	9	10	11	9
7H45	7	9	10	11	9
7H50	7	9	10	11	9
7H55	7	9	10	11	9
8H00	7	9	10	11	9
8H05	7	9	10	11	9
8H10	7	9	10	11	9
8H15	7	9	10	11	9
8H20	7	9	10	11	9
8H25	7	9	10	11	9
8H30	7	9	10	11	9
8H35	7	9	10	11	9
8H40	7	9	10	11	9
8H45	7	9	10	11	9
8H50	7	9	10	11	9
8H55	7	9	10	11	9
9H00	7	9	10	11	9
9H05	7	9	10	11	9
9H10	7	9	10	11	9
9H15	7	9	10	11	8
9H20	7	9	10	11	8
9H25	7	9	10	11	8
9H30	7	9	9	11	8
9H35	7	9	9	11	8
9H40	7	9	9	11	8
9H45	7	9	9	11	8

9H50	7	9	9	11	8
9H55	7	9	9	11	8
10H00	7	9	9	11	8
10H05	7	9	9	11	8
10h10	7	9	9	11	8
10H15	7	9	9	11	8
10H20	7	9	9	11	8
10H25	7	9	9	11	8
10H30	7	9	9	11	8
10H35	7	9	9	11	8
10H40	7	9	9	11	8
10H45	7	9	9	11	8
10H50	7	9	9	11	8
10H55	7	9	9	11	8
11H00	7	9	9	11	8
11H05	7	9	9	11	8
11H10	7	9	9	11	8
11H15	7	9	9	11	8
11H20	7	9	9	11	8
11H25	7	9	9	11	8
11H30	7	9	9	11	8
11H35	7	9	9	11	8
11H40	7	9	9	11	8
11H45	7	9	9	11	8
11H50	7	9	9	11	8
11H55	7	9	9	11	8
12H00	7	9	9	11	8
12H05	7	9	9	11	8
12H10	7	9	9	11	8
12H15	7	9	9	11	8
12H20	7	9	9	11	8
12H25	7	9	9	11	8
12H30	7	9	9	11	8
12H35	7	9	9	11	10
12H40	7	9	9	11	10
12H45	7	9	9	11	10
12H50	7	9	9	11	10
12H55	7	9	9	11	10
13H00	7	9	9	11	8
13H05	7	9	9	11	8
13H10	7	9	9	11	8
13H15	7	9	9	11	8

---

13H20	7	9	9	11	8
13H25	7	9	9	11	8
13H30	7	9	9	11	8
13H35	7	9	9	11	8
13H40	7	9	9	11	8
13H45	7	9	9	11	8
13H50	7	9	9	11	8
13H55	7	9	9	11	8
14H00	7	9	9	11	8
14H05	7	9	9	11	8
14H10	7	9	9	11	8
14H15	7	9	9	11	8
14H20	7	9	9	11	8
14H25	9	9	9	11	8
14H30	9	9	9	11	8
14H35	9	9	9	11	8
14H40	9	9	9	11	8
14H45	9	9	9	11	8
14H50	9	9	9	11	8
14H55	8	9	9	11	8
15H00	9	9	9	11	8
15H05	9	9	9	11	8
15H10	9	9	9	11	8
15H15	9	9	9	11	8
15H20	9	9	9	11	8
15H25	9	9	9	11	8
15H30	9	9	9	11	8
15H35	9	9	9	11	8
15H40	9	9	9	11	8
15H45	9	9	9	11	8
15H50	9	9	9	11	8
15H55	9	9	9	11	8
16H00	9	9	9	11	8
16H05	9	9	9	11	8
16H10	9	9	9	11	8
16H15	9	9	9	11	8
16H20	9	9	9	11	8
16H25	9	9	9	11	8
16H30	9	9	9	11	8
16H35	9	9	9	11	8
16H40	9	9	9	11	8
16H45	9	9	9	11	8

---

16H50	9	9	9	11	8
16H55	9	9	9	11	8
17H00	9	9	9	11	8
17H05	9	9	9	11	8
17H10	9	9	9	11	8
17H15	9	9	9	11	8
17H20	9	9	9	11	8
17H25	9	9	9	11	8
17H30	8	9	9	11	8
17H35	8	9	9	11	8
17H40	8	9	9	11	8
17H45	8	9	9	11	8
17H50	8	9	9	11	8
17H55	8	9	9	11	8
18H00	8	9	9	11	8
18H05	8	9	9	11	8
18H10	8	9	9	11	8
18H15	8	9	9	11	8
18H20	8	9	9	11	8
18H25	8	9	9	11	8
18H30	8	9	9	11	8
18H35	8	9	9	11	8
18H40	8	9	9	11	8
18H45	8	9	9	11	8
18H50	8	9	9	11	8
18H55	8	9	9	11	8
19H00	8	9	9	11	8
19H05	8	9	9	11	8
19H10	8	9	9	11	8
19H15	8	9	9	11	8
19H20	8	9	9	11	8
19H25	8	9	9	11	8
19H30	8	9	9	11	8
19H35	8	9	9	11	8
19H40	8	9	9	11	8
19H45	8	9	9	11	8
19H50	8	9	9	11	8
19H55	8	9	9	11	8
20H00	8	9	9	11	8
20H05	8	9	9	11	8
20H10	8	9	9	11	8
20H15	8	9	9	11	8

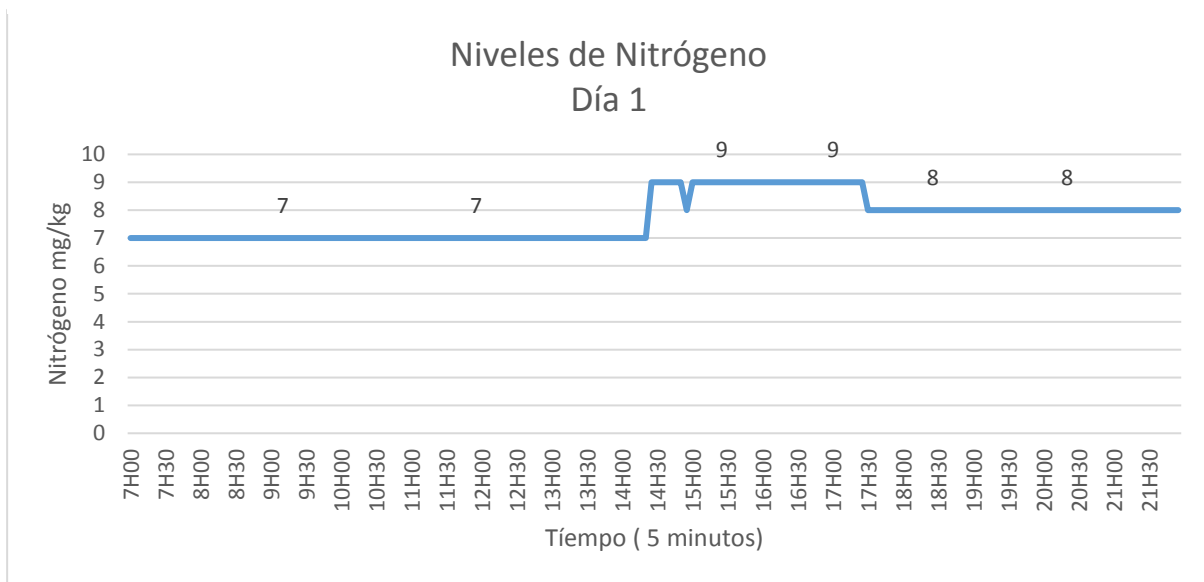
20H20	8	9	9	11	8
20H25	8	9	9	11	8
20H30	8	9	9	11	8
20H35	8	8	9	11	8
20H40	8	8	9	11	8
20H45	8	8	9	11	8
20H50	8	8	9	11	8
20H55	8	8	9	11	8
21H00	8	8	9	11	8
21H05	8	8	9	11	8
21H10	8	8	9	11	8
21H15	8	8	9	11	8
21H20	8	8	9	11	8
21H25	8	8	9	11	8
21H30	8	8	9	11	8
21H35	8	8	9	11	8
21H40	8	8	9	10	8
21H45	8	8	9	10	8
21H50	8	8	9	10	8
21H55	8	8	9	10	8

*Nota.* Niveles de nitrógeno del suelo, durante cinco días en intervalos de cinco minutos.

#### 6.4.4.1. Análisis del Nitrógeno del Suelo Durante el Primer Día.

Los niveles de nitrógeno del suelo registrado durante el primer día, fueron recolectados durante 15 horas en intervalos de 5 minutos, donde se puede evidenciar que los niveles se encuentran en el rango de 7-9 los cuales no son óptimos para el cultivo.

**Figura 89.** Niveles de nitrógeno registrados durante el primer día.



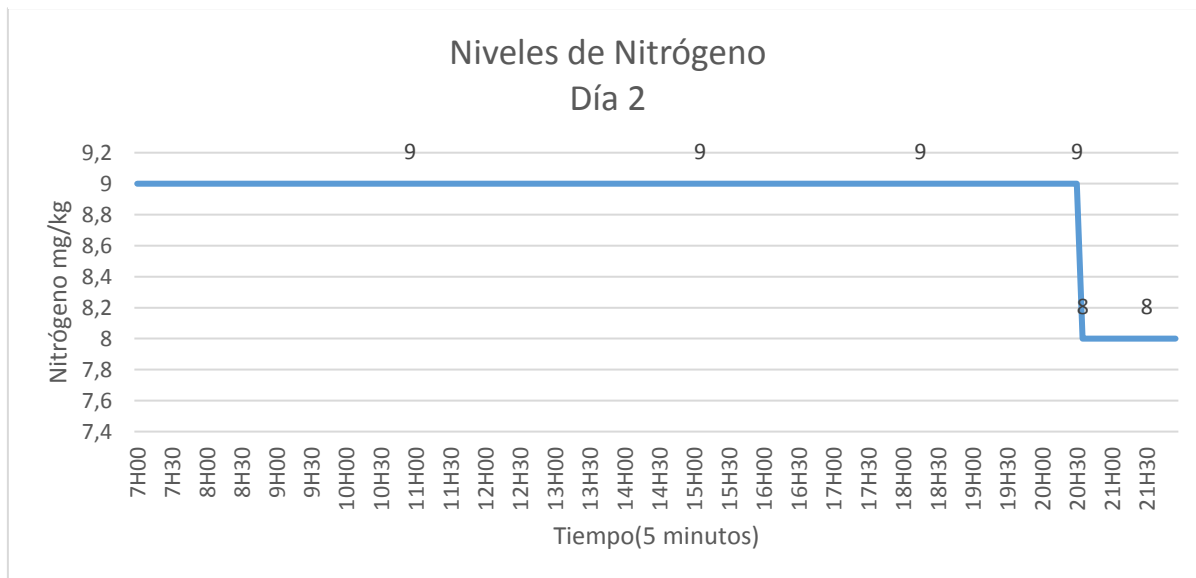
**Nota.** Visualización de los niveles de nitrógenos del suelo durante el primer día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de nitrógeno (mg/kg).



#### 6.4.4.2. Análisis del Nitrógeno del Suelo Durante el Segundo Día.

Los niveles de nitrógeno del suelo registrados durante el segundo día, fueron recolectados durante 15 horas en intervalos de 5 minutos, donde se puede evidenciar que los niveles se encuentran en el rango de 8-9, siendo estos no aptos para los cultivos.

**Figura 90.** Niveles de nitrógeno registrados durante el segundo día.



**Nota.** Visualización de los niveles de nitrógenos del suelo durante el segundo día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de nitrógeno (mg/kg).

#### 6.4.4.3. Análisis del Nitrógeno del Suelo Durante el Tercer Día.

Los niveles de nitrógeno del suelo registrados durante el tercer día, fueron recolectados durante 15 horas en intervalos de 5 minutos, donde se puede evidenciar que los niveles se encuentran en el rango de 9-10, siendo estos no favorables para el cultivo.

**Figura 91.** Niveles de nitrógeno registrados durante el tercer día.

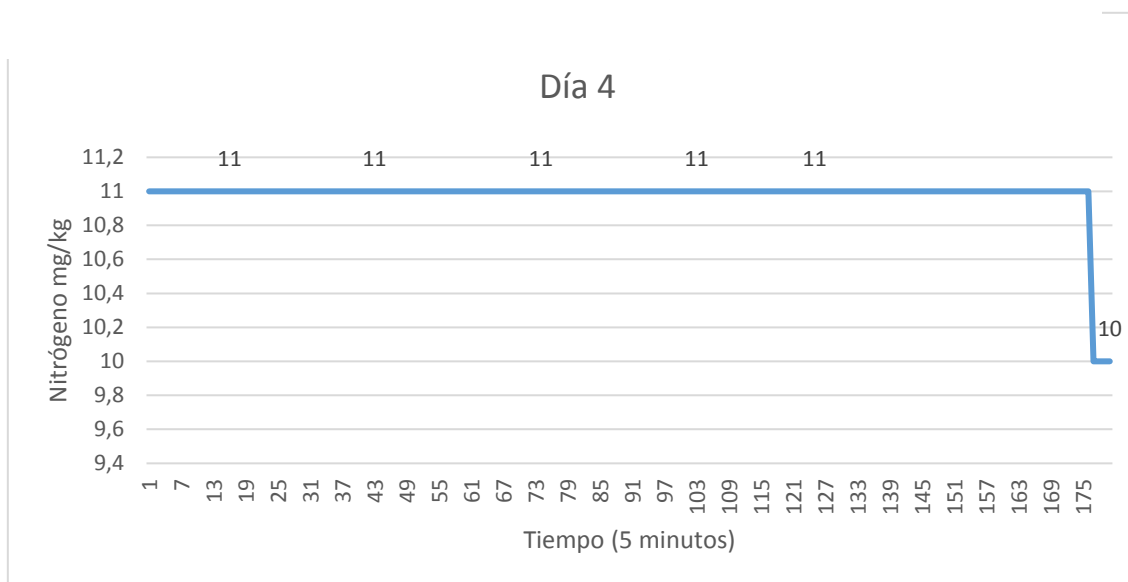


**Nota.** Visualización de los niveles de nitrógenos del suelo durante el segundo día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de nitrógeno (mg/kg).

#### **6.4.4.4. Análisis del Nitrógeno del Suelo Durante el Cuarto Día.**

Los niveles de nitrógeno del suelo registrados durante el cuarto día, fueron recolectados durante 15 horas en intervalos de 5 minutos, donde se puede evidenciar que los niveles se encuentran en el rango 10-11, siendo estos poco favorables para los cultivos.

**Figura 92.** Niveles de nitrógeno registrados durante el cuarto día.

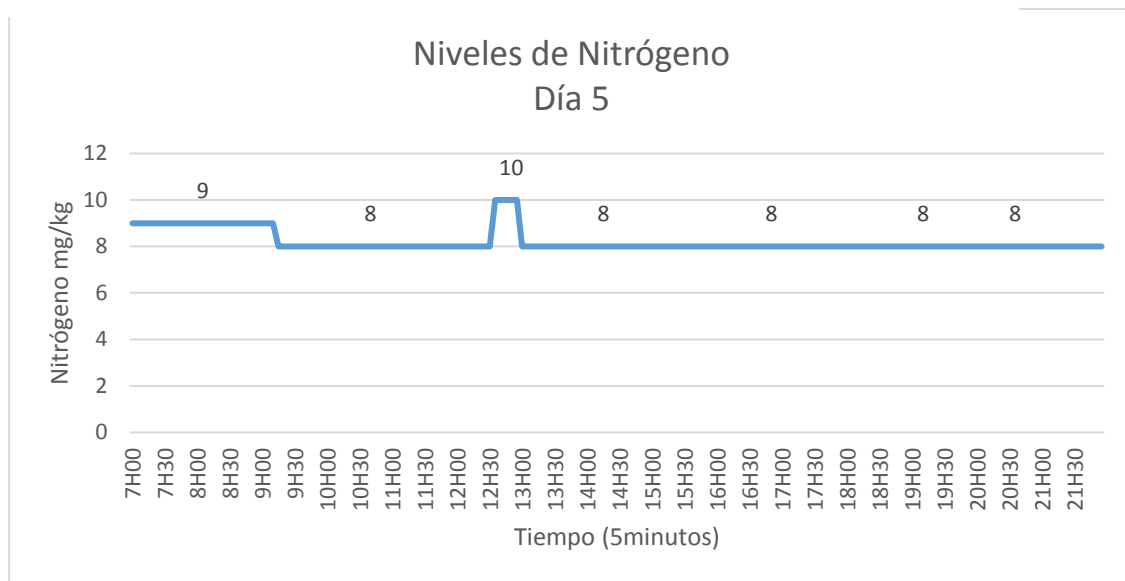


**Nota.** Visualización de los niveles de nitrógenos del suelo durante el cuarto día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de nitrógeno (mg/kg).

#### **6.4.4.5. Análisis del Nitrógeno del Suelo Durante el Quinto Día.**

Los niveles de nitrógeno del suelo registrados durante el quinto día, fueron recolectados durante 15 horas en intervalos de 5 minutos, donde se puede evidenciar que los niveles se encuentran en el rango 8-10, por ende, no son óptimos para los cultivos.

**Figura 93.** Niveles de nitrógeno registrados durante el quinto día.



*Nota.* Visualización de los niveles de nitrógenos del suelo durante el quinto día, el eje “x” representa el tiempo, las muestras son cada 5 minutos en un intervalo de 15 horas, el eje “y” representa los niveles de nitrógeno (mg/kg).

## 7. Discusión

Esta investigación surgió como respuesta a solventar una necesidad de la asociación agropecuaria Guacacocha, ya que el cambio climático que actualmente experimenta el planeta, se estima que la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmosfera, traen como consecuencia el aumento de temperatura y mayor variabilidad de la precipitación que afecta a la agricultura y con ello el cultivo de maíz podría verse afectado en su producción debido a estos efectos adversos.

El proyecto tiene como propósito el diseño y la implementación de una red de sensores para el análisis de las variables como son nitrógeno, pH del suelo, radiación solar y la emisión de dióxido de carbono los cuales afectan a las plantaciones de maíz ya que los sectores no cuentan con tecnologías para el estudio del suelo y del ambiente por ello el proyecto tiene como finalidad facilitar a los miembros de la asociación un mejor manejo de suelos y mejorar sus conocimientos acerca de los factores ambientales que inciden durante el desarrollo del cultivo.

De los datos obtenidos, de la radiación solar se pueden deducir que existen días con niveles extremadamente elevados, los picos más altos se presentan desde las 10:00 hasta 14:00 los cuales podrían afectar al normal desarrollo del cultivo ya dicho sector no cuenta con riego y los mismo podrían sufrir de insolación solar, por otra parte, podría ser beneficioso para el secado del grano maduro y posterior cosecha.

Como resultado de los datos arrojados del dióxido de carbono se puede apreciar que existen niveles tolerantes ya que se encuentran en el rango de 300 a 550 ppm siendo favorables para el cultivo de maíz, pero a consecuencia del uso de pesticidas y fungicidas los factores ambientales se ven alterados lo cual provoca que aumenten los niveles de dióxido de carbono como se puede observar en la Figura 79.

Como resultado del estudio de suelo podemos deducir que los niveles de pH que presentan los predios de la asociación Guacacocha, son los óptimos para el cultivo de maíz, ya que requieren de un rango que va entre (5,5-6.5) para que las plantaciones se desarrollen con normalidad esto en relación a los cinco días de recopilación de datos y a los promedios calculados durante los mismos.

De acuerdo a los datos registrados durante los cinco días, los niveles de macronutrientes como es el nitrógeno son muy bajos, por tal motivo se tendría que emplear un plan de fertilización,

el cual consista en tener una mediada exacta para cada planta de acuerdo a los valores registrados por el sensor de nitrógeno, ya que los agricultores de la asociación tienen como costumbre arrojar un puñado de urea a cada planta el cual provoca desperdicio de nutrientes y mal manejo del fertilizante, por el contrario lo que se busca es minimizar gastos excesivos, para que así el agricultor mejore la eficiencia en la aplicación del fertilizante y optimice su producción.

Todos los datos recopilados se los realizaron durante las cosechas esto para saber en qué condiciones están los suelos y los factores ambientales. Además, los valores obtenidos de cada variable sirven como referencia para que el agricultor realice una mejor elección de la semilla la cual se adapte al medio ya estudiado, puesto que existen una gran variedad de semillas con características propias para cada tipo de ambiente, así como también existen pesticidas y fungicidas ecológicos que el agricultor puede emplear en sus cultivos contribuyendo a la conservación del medio ambiente, ya que los artificiales provocan altos niveles emisión de dióxido de carbono que a futuro provocarían serios daños a la estructura y fertilidad del suelo.

Durante el desarrollo del proyecto, se presentaron una serie de limitantes, dentro de estas se destacan: una vez implementado el sistema se denoto que además de la conexión Ethernet del Gateway, se necesitó añadir una conexión WI-FI que sirva como respaldo para que la salida de internet no pueda presentar fallas, otra de las limitaciones que presentan el sistema son los datos móviles ya que por ser un sector rural la conectividad se ve limitada por ende existen sitios estratégicos en donde ubicar el nodo principal para que exista conectividad y los datos puedan ser enviados a la plataforma de gestión.

El sistema de monitoreo es autónomo siendo una fortaleza puesto que no requiere de una alimentación eléctrica, porque la energía que genera es a través de la energía solar captada por los paneles solares evitando así la emisión de gases de efecto invernadero, por lo que no contribuye al calentamiento global. De hecho, se muestra como una de las tecnologías renovables más eficientes en la lucha contra el cambio climático.

Además, el proyecto tiene como finalidad generar un ahorro a los miembros de la asociación y a la vez brindar un mayor conocimiento de los factores que inciden durante el proceso del cultivo de maíz, logrando así una agricultura de precisión con la ayuda de la tecnología,

optimizando recursos a través del manejo de la variabilidad (espacial y temporal) de los factores de producción del cultivo.

La importancia de la aplicación del proyecto es que sirva de guía para los agricultores del sector y de sectores aledaños. La tecnología empleada facilita el proceso de cultivo generando un ahorro de estudio de suelos y medioambientales, además los datos generados durante el desarrollo de este proyecto son un antecedente para futuras investigaciones que permitirán lograr una agricultura de precisión.

## 8. Conclusiones

- Se logro diseñar e implementar un sistema de monitoreo de las variables como son Uv, radiación solar. pH y Nitrógeno de suelo para la asociación agropecuaria Guacacocha el cual fue desarrollado con un hardware y software libre, este sistema se va encargar de recolectar los datos, almacenar en una base de datos para luego ser visualizados y analizados mediante la interfaz gráfica.
- El sistema de monitoreo se diseñó bajo criterios y requerimientos obtenidos de la revisión bibliográfica de las tecnologías inalámbricas, los protocolos que se utilizan para la adquisición, envío y monitoreo de datos, así como, los estándares y las normativas vigentes.
- El monitoreo de las variables de las plantaciones de maíz facilita la toma de decisiones optimas que permitan mejorar el desarrollo de los cultivos, para poder obtener mejores beneficios en la alimentación y económicos para los miembros de la asociación, además se mantenga en funcionamiento proveerá de un presente histórico para estudios posteriores.
- Los resultados demuestran los valores máximos, promedios y mínimos, que indican las variaciones de las variables durante el día. Estos valores indican que en ocasiones están fueran de los rangos óptimos para el desarrollo de las plantaciones de maíz.
- Los nodos tienen un sistema de alimentación comprendido de una batería y panel solar el cual lo hace autosustentable, siendo un sistema de bajo consumo y bajo costo. En el nodo esta integrados por varios sensores, para monitorear las condiciones del suelo y del ambiente, en tiempo real.
- La interfaz Gráfica del sistema de monitoreo estará en la Web y podrá ser visualizada en cualquier dispositivo que tenga acceso a internet, la interfaz diseñada visualizada las condiciones agroecológicas del cultivo de maíz.
- El diseño desarrollado presenta ventajas económicas como tecnológicas, la estructura del trabajo presentado se adapta a sistemas de adquisición y monitoreo para países en vías de desarrollo, adicionalmente, representa mejora en la optimización de la producción del maíz relacionado con los cambios de radiación solar, dióxido de carbono, nitrógeno y pH de suelo, provocando un mejor rendimiento de los cultivos, así como al acceso de sus datos y hacia un enfoque a la agricultura de precisión.



## 9. Recomendaciones

Finalmente, en base a la investigación realizada y las conclusiones obtenidas, se muestra un conjunto de sugerencias o recomendaciones que se pueden tener en cuenta para futuras investigaciones o estudios.

- Se recomienda colocar los sensores de acuerdo como nos indica el fabricante para evitar que nos entregue mediciones erróneas.
- Verificar que los sensores estén siempre arrojando datos reales y no se recomienda retirarlos hasta que cumplan el tiempo de medición.
- Los datos obtenidos podrían ser utilizados por los productores de semillas, para que ofrezcan al agricultor semillas con características mejoradas.
- Es recomendable que los agricultores se adapten a los nuevos procesos tecnológicos ya que con ello pueden mejorar las técnicas de cultivos.
- Se debe considerar que el sistema de monitoreo para el cultivo de maíz, se lo puede utilizar para otros tipos de cultivos indiferentemente de la región.
- Es importante que el usuario de constante mantenimiento a los equipos y al sistema de alimentación de cada uno de los nodos para evitar fallas en la recolección de datos.

## 10. Bibliografía

- Acosta, R., & Acosta, M. C. R. (2009). Reseña EL CULTIVO DEL MAÍZ, SU ORIGEN Y CLASIFICACIÓN. EL MAIZ EN CUBA. *Cultivos Tropicales*, 30(2), 113–120.
- ASP gems. (2019, April). *Metodología de desarrollo de software (III) – Modelo en Espiral*.
- Baeza, J. P., & Pomares, J. (2009). *Manual de arduino revision*.
- Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqw, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, Wkh, R. Q., ... ح. فاطمی (2015). GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA MAÍZ DURO. In *Syria Studies* (Vol. 7, Issue 1). [https://www.researchgate.net/publication/269107473\\_What\\_is\\_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars\\_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625](https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625)
- Betancourt Yanez, P., González Ríos, J., Figueroa Sandoval, B., & González Cossio, F. (2019). *COBERTURA VEGETATIVA Y FERTILIZACION NITROGENADA EN LA PRODUCCION DE MAIZ Vegetative Cover and Nitrogen Fertilization in Corn Production*. 16.
- Cardena, O. R. (2019). Manual de plagas y enfermedades del maíz. *Sembrando Diversidad - Cosechando Seguridad*, 29.
- César, T. (2019). *Evaluación De Tecnologías Inalámbricas En Redes De Área Doméstica Para Obtener La Curva Característica De Carga En Edificios Inteligentes*. 1–47. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17531/1/UPS-ST004133.pdf>
- COCUPO MEDIA. (2019). La planta de maiz y sus partes - Y sus partes. In *Ysuspartes*. <https://ysuspartes.com/la-planta-de-maiz-y-sus-partes/>
- CONELEC. (2008). Atlas solar del ecuador. *Conelec*, 1–51. [http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf)
- D. Evans. (2011). *The internet of things: how the next evolution of the internet is changing everything, CISCO white paper*. 1–11.

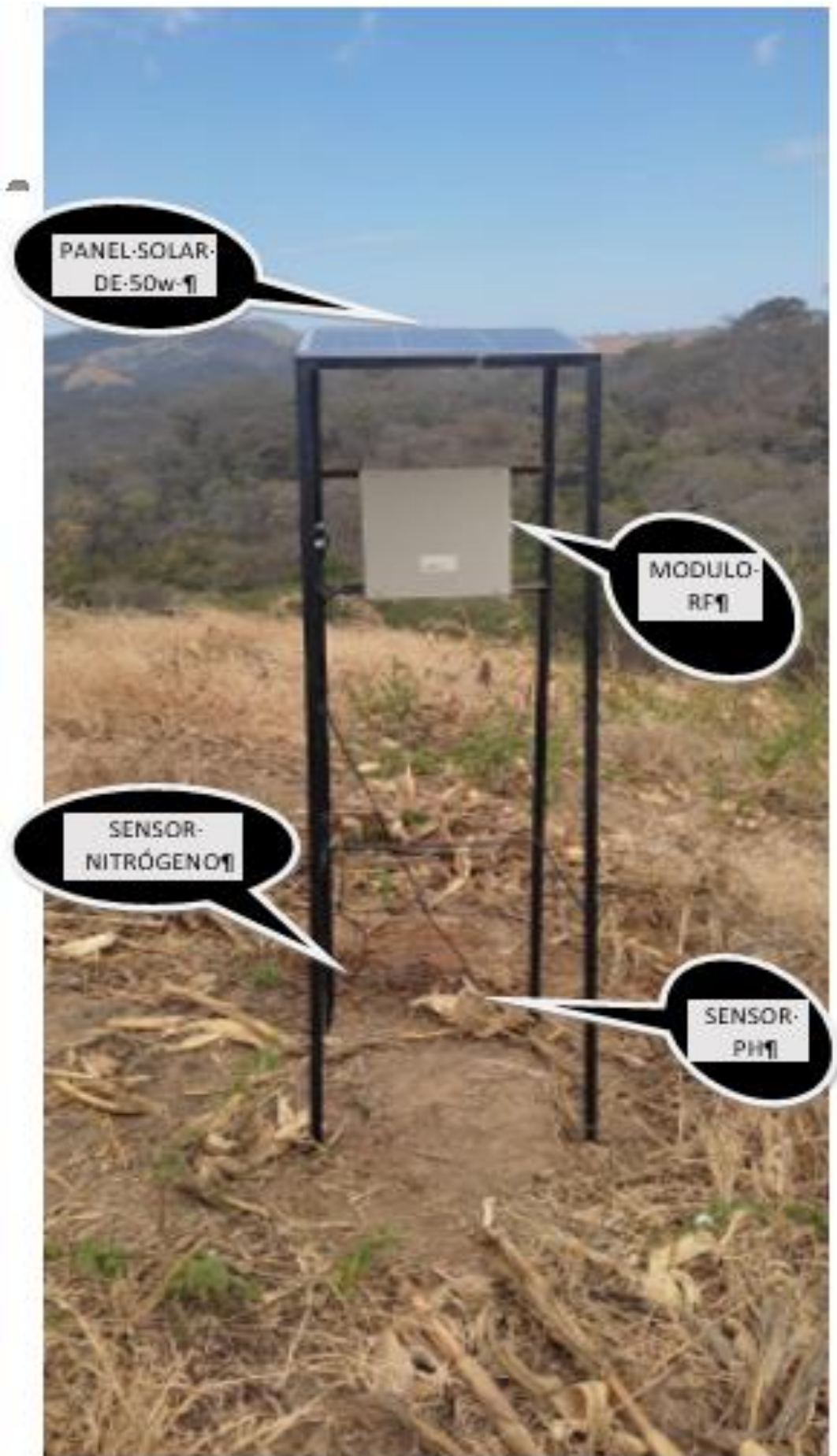
- Días, T., & Carmona, G. (2020). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica 1*. 22. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Emilio Rodrigo Basantes Morales. (2015). *MANEJO DE CULTIVOS ANDINOS DEL ECUADOR: Vol. uno*. [http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10163/Manejo Cultivos Ecuador.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10163/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Fedele, L. (2011). From Basic Maintenance to Advanced Maintenance. *Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance*, 63–112. [https://doi.org/10.1007/978-0-85729-103-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-0-85729-103-5_5)
- Fernando, R., Rom, M., Pa, J., & Universidad, T. (2017). *Estudio entre las tecnologías WIFI – LIFI en la optimización del servicio de internet*.
- Francisco Mellado Garcia. (2022). *Energía Solar Fotovoltaica*. 18–22. [www.coit.es](http://www.coit.es)
- García, E., & Flego, F. (2005). Agricultura de Precisión. *Ciencia y Tecnología*, 8, 99–116. <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>
- González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Estrada Cabral, J. C., Chávez-Muñoz, J. A., & Tejero Jiménez, L. (2016). Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México\* Characteristics and properties of maize (*Zea mays* L.) grown in native Aguascalientes, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 669–680.
- María Elena Estrada Martínez. (2021). Principales Enfermedades Del Maíz (*Zea Mays*, L.) En Ecuador. *Universidad Metropolitana. Ecuador*, 9(2), 2–7. [file:///C:/Users/usuario/Downloads/469-Texto del artículo-900-1-10-20210922.pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/469-Texto%20del%20artículo-900-1-10-20210922.pdf)
- Mega, E. A. (2021). *MB0014 : OEM ARDUINO MEGA*.
- MikroTik. (2019). *Manual: Wireless Station Modes - MikroTik Wiki*.
- NS ENERGY. (2021). Los cinco países con mayor capacidad de energía solar del mundo - World Energy Trade. *World Energy Trade* . <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/los-cinco-paises-con-mayor-capacidad-de-energia-solar-del-mundo>
- Ramón, C., Fleites, L., Víctor, M., & Díaz, G. (2011). *Generalidades del Cultivo del Maíz*.

- Santillán, O., & Rentería, M. (2018). *Agricultura de Presición*. 52(15), 1–6.  
[www.foroconsultivo.org.mx](http://www.foroconsultivo.org.mx)
- Solórzano Ramón, C. A. (2019). *Diseño de una red WLAN para cobertura en Centro Turístico y Vacacional utilizando el Simulador NS3*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Universidad de Deusto. (2017). Internet de las Cosas - YouTube. *Seguridad En Internet De Las Cosas*, 37(6), 164. <https://www.youtube.com/watch?v=542oTWpKPIE>
- Varon, F., & Sarria, G. (2007). Enfermedades del Maiz y su manejo. In *Bulletin of Insectology* (Vol. 64, Issue 1). <http://www.ica.gov.co/getattachment/ebc4faee-6dee-4767-aa3f-0553c71290c4/Enfermedades-del-maiz-y-su-manejo.aspx%0Ahttp://www.bdigital.unal.edu.co/12778/%0Ahttps://cgspace.cgiar.org/handle/10568/68971%0Ahttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q>
- Veronica Diaz. (2015). *Monitoreo y localización de personas extraviadas utilizando Arduino y GSM / GPS*.
- Yanez, P., Ríos, J., Sandoval, B., latinoamericana, F. C.-T., & 1998, undefined. (1998). Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. *Redalyc.Org*, 231–237.  
<https://www.redalyc.org/pdf/573/57316306.pdf>

## 11. Anexos

### Anexo 1. Estructuras metálicas para cada uno de los nodos





PANEL-SOLAR-  
DE-50w-¶

MODULO-  
RF¶

SENSOR-  
NITRÓGENO¶

SENSOR-  
PH¶



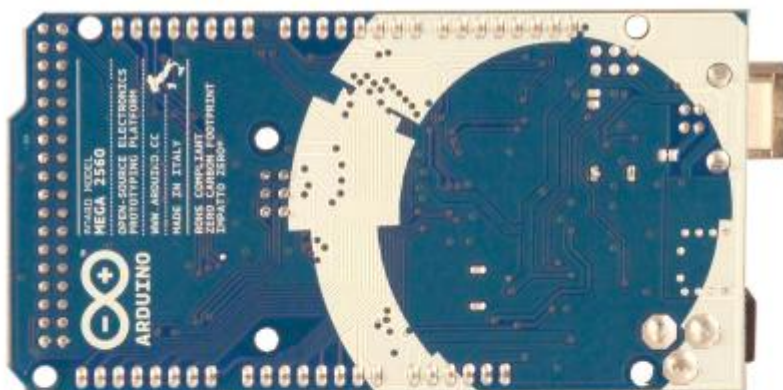
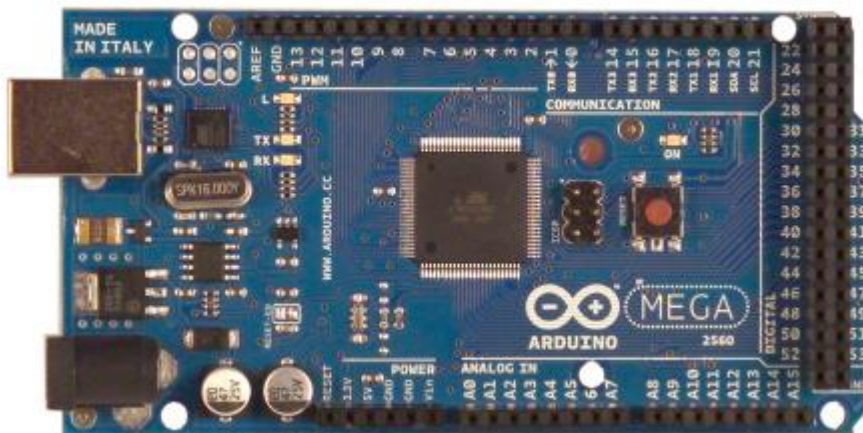
PANEL-  
SOLAR-DE-  
50W-¶

ROUTER-GSM-¶  
HUAWEI-¶

MODULO-  
RF-¶

## Anexo 2. Datasheet del arduino mega 2560

# Arduino Mega 2560 Datasheet



## Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.



## Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

## Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

## Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#). The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Uno, Duemilanove and Diecimila.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH

## Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega2560's digital pins.

The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

## Programming

The Arduino Mega can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It

### Anexo 3. Datasheet del arduino uno

Product Reference Manual  
SKU: A000066



#### Description

The Arduino UNO R3 is the perfect board to get familiar with electronics and coding. This versatile microcontroller is equipped with the well-known ATmega328P and the ATmega 16U2 Processor. This board will give you a great first experience within the world of Arduino.

## 1.1 Application Examples

The UNO board is the flagship product of Arduino. Regardless if you are new to the world of electronics or will use the UNO as a tool for education purposes or industry-related tasks.

**First entry to electronics:** If this is your first project within coding and electronics, get started with our most used and documented board; Arduino UNO. It is equipped with the well-known ATmega328P processor, 14 digital input/output pins, 6 analog inputs, USB connections, ICSP header and reset button. This board includes everything you will need for a great first experience with Arduino.

**Industry-standard development board:** Using the Arduino UNO board in industries, there are a range of companies using the UNO board as the brain for their PLC's.

**Education purposes:** Although the UNO board has been with us for about ten years, it is still widely used for various education purposes and scientific projects. The board's high standard and top quality performance makes it a great resource to capture real time from sensors and to trigger complex laboratory equipment to mention a few examples.

## 1.2 Related Products

- Starter Kit
- Tinkerkit Braccio Robot
- Example

## 2 Ratings

### 2.1 Recommended Operating Conditions

Symbol	Description	Min	Max
	Conservative thermal limits for the whole board:	-40 °C (-40°F)	85 °C ( 185°F)

**NOTE:** In extreme temperatures, EEPROM, voltage regulator, and the crystal oscillator, might not work as expected due to the extreme temperature conditions

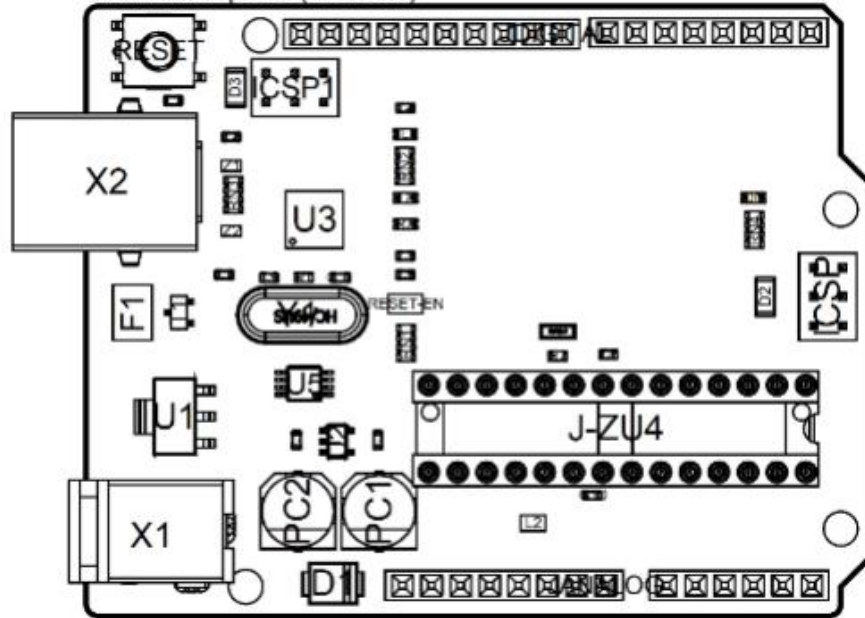
### 2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
VINMax	Maximum input voltage from VIN pad	6	-	20	V
VUSBMax	Maximum input voltage from USB connector		-	5.5	V
PMax	Maximum Power Consumption	-	-	xx	mA

## 3 Functional Overview

### 3.1 Board Topology

Top view



Board topology

Ref.	Description	Ref.	Description
X1	Power jack 2.1x5.5mm	U1	SPX1117M3-L-5 Regulator
X2	USB B Connector	U3	ATMEGA16U2 Module
PC1	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	U5	LMV358LIST-A.9 IC
PC2	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	F1	Chip Capacitor, High Density
D1	CGRA4007-G Rectifier	ICSP	Pin header connector (through hole 6)
J-ZU4	ATMEGA328P Module	ICSP1	Pin header connector (through hole 6)
Y1	ECS-160-20-4X-DU Oscillator		

## 4 Board Operation

### 4.1 Getting Started - IDE

If you want to program your Arduino UNO while offline you need to install the Arduino Desktop IDE [1] To connect the Arduino UNO to your computer, you'll need a Micro-B USB cable. This also provides power to the board, as indicated by the LED.

### 4.2 Getting Started - Arduino Web Editor

All Arduino boards, including this one, work out-of-the-box on the Arduino Web Editor [2], by just installing a simple plugin.

The Arduino Web Editor is hosted online, therefore it will always be up-to-date with the latest features and support for all boards. Follow [3] to start coding on the browser and upload your sketches onto your board.

### 4.3 Getting Started - Arduino IoT Cloud

All Arduino IoT enabled products are supported on Arduino IoT Cloud which allows you to Log, graph and analyze sensor data, trigger events, and automate your home or business.

### 4.4 Sample Sketches

Sample sketches for the Arduino XXX can be found either in the "Examples" menu in the Arduino IDE or in the "Documentation" section of the Arduino Pro website [4]

### 4.5 Online Resources

Now that you have gone through the basics of what you can do with the board you can explore the endless possibilities it provides by checking exciting projects on ProjectHub [5], the Arduino Library Reference [6] and the online store [7] where you will be able to complement your board with sensors, actuators and more

## Anexo 4. Datasheet del módulo de rf 2.4ghz [nrf24l01]



Módulo de RF 2.4GHz [nRF24L01]



### Módulo de RF 2.4GHz [nRF24L01]

[PROD 060A - Módulo de RF 2.4GHz [nRF24L01] -05/16]

### Especificaciones Técnicas del Módulo de RF 2.4GHz

Diseñado por:

**N-MADA**<sup>®</sup>

NoMADA®

[www.nomada-e.com](http://www.nomada-e.com)

Diseño Embebido... un Paso Adelante.

PROD 060A -Módulo de RF 2.4GHz [nRF24L01] -05/2016



El módulo RF basado en el chip Nordic nRF24L01, es ultra compacto y de muy bajo consumo. Es ideal para proyectos de telemetría, control de periféricos, industria y afines.

### Características

- Voltaje de alimentación de 1.9 a 3.6V
- Control mediante SPI
- Banda ISM de 2.4GHz
- Velocidad de datos de hasta 2Mbps.
- Operación a muy baja potencia.
- 11.3mA TX a 0dBm de potencia de salida
- 12.3mA RX a una velocidad de datos de 2Mbps
- ShockBurst™ Mejorado
- Compatible con nRF2401A, 02, E1 y E2
- Selección de canales mediante software (125 disponibles)
- Antena externa con conector SMA (Incluida)
- Distancia de alcance de hasta 1200 metros en línea de vista

### Dimensiones (en milímetros)

40 x 15 x 10 mm

### Descripción de los pines del Módulo de RF 2.4GHz

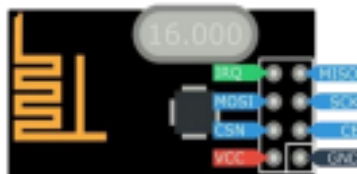


Figura 1. Pines del convertidor ADC de 24 bits.

PIN	Descripción
GND	Tierra
VCC	Alimentación (3.3V)
CE	Chip Enable (habilita Tx o RX)
CSN	Chip Select interfaz SPI
SCK	Reloj de la interfaz SPI
MOSI	Flujo de datos del Maestro
MISO	Flujo de datos del Esclavo
IRQ	Pin de Interrupción (bajo activo)

Tabla 1. Descripción de los pines del Módulo de RF 2.4GHz [nRF24L01].

NoMADA®

www.nomada-e.com

### Código de muestra con NoMADA®

El código de muestra y librerías para este módulo y muchos más se encuentran disponibles en el siguiente enlace en la sección de recursos NoMADA®:

<http://nomada-e.com/videtutoriales.html>

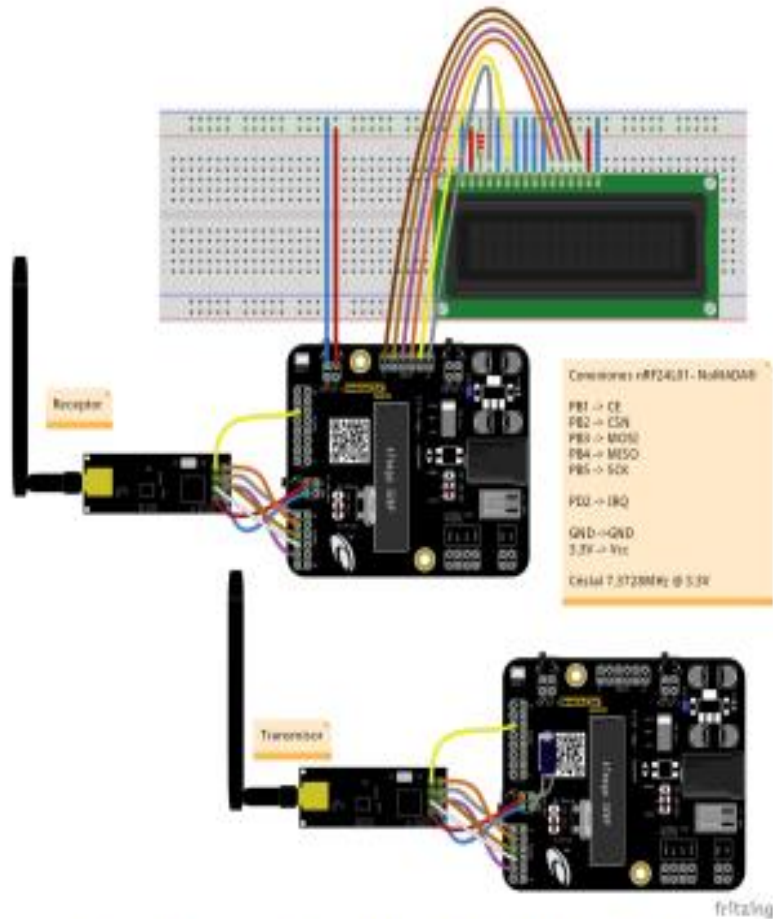


Figura 2. Conexión del Módulo de RF 2.4GHz [nRF24L01] con NoMADA®.

## Anexo 5. Datasheet del módulo ethernet lan enc28j60

### **ENC28J60 Ethernet LAN Network Module for Arduino**



ENC28J60 Ethernet Module utilizes the new Microchip ENC28J60 Stand-Alone Ethernet Controller IC featuring a host of features to handle most of the network protocol requirements. The board connects directly to most microcontrollers with a standard SPI interface with a transfer speed of up to 20MHz.

This Ethernet Breakout-Module is simplest way to add LAN connectivity to your microcontroller based products and projects.

- Use this module to enable Ethernet interface for your product. It works with any microcontroller operating at 3.3V or 5V.
- This module works at 3.3V and is compatible with 5V interface lines.
- Use SPI process to interface with it.
- Host web server, ping the module or add it to home automation via internet.
- Heart of this module is ENC28J60 Ethernet controller from Microchip.
- Use of RJ45 with Integrated magnetic has made it possible to reduce the size of board.

#### **Important Note for Use**

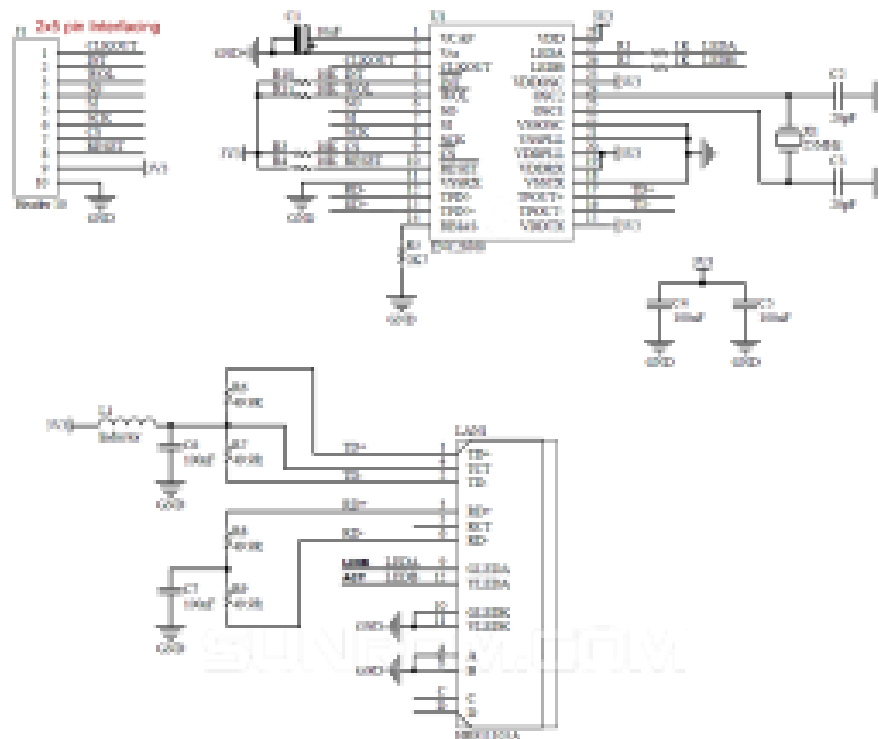
- VCC power to the module has to be 3.3V regulated. Do not give 5V to power else it will damage the module.
- I/O are 5V tolerant, you can check datasheet.
- Your interfacing micro can run at either 3.3V or 5V, it does not matter. Your micro is SPI Master(5V or 3.3V) and ENC28J60 is a SPI Slave(3.3V)
- If your micro is at 5V, then it will get 3.3V level output from SO(Serial Output) pin and other output pins, which is a valid high for 5V micro. The output pins need not be 5V tolerant, since 5V tolerant only applied to input pins of the ethernet IC.
- The IC will become a little warm, that is normal. Ideally the current consumed of module will be around 120-150mA.
- While testing, make sure to have a good Ethernet port to PC, Many cheap USB-Ethernet adapters are not good quality and will not give a reliable link even though LED shows up ok.

### Features

- ENC28J60 Ethernet chips, SOP28 package
- SPI Interface
- 1x10 connector, can be easily mounted with the MCU
- Built-in isolation transformer RJ45 connectors HR911105A
- Power LED
- Single Supply: +3.3 V
- 25Mhz Crystal
- PCB size: 48x18 mm

It is a module by which you can put your control board online. And of course you can use it on the Arduino platform. Its function is the same as Ethernet Shield V1.0 for Arduino, so with it you can realize all the functions that you did on the Ethernet Shield V1.0 for Arduino. It is tiny and convenient, you need to connect it with your Arduino board with 10 wires, then you can use it like the Ethernet Shield V1.0 for Arduino.

### Board Schematic



## Anexo 6. Datasheet del sensor de CO2

### MG811

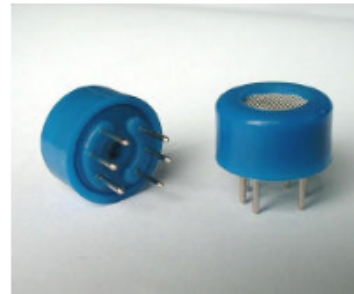
### CO2 Sensor

#### Features

- Good sensitivity and selectivity to CO2
- Low humidity and temperature dependency
- Long stability and reproducibility

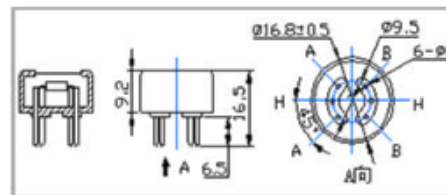
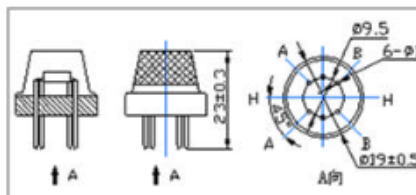
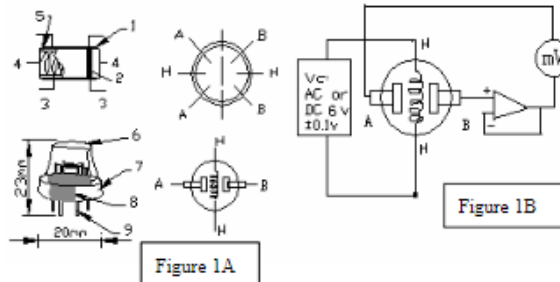
#### Application

- Air Quality Control
- Ferment Process Control
- Room Temperature CO2 concentration Detection



#### Structure and Testing Circuit

Sensor Structure and Testing Circuit as Figure. It composed by solid electrolyte layer ( 1 ), Gold electrodes ( 2 ), Platinum Lead ( 3 ), Heater ( 4 ), Porcelain Tube ( 5 ), 100m double-layer stainless steel net ( 6 ), Nickel and copper plated ring ( 7 ), Bakelite ( 8 ), Nickel and copper plated pin ( 9 ).



#### Working Principle

Sensor adopt solid electrolyte cell Principle , It is composed by the following solid cells :

Air , Au|NASICON|| carbonate|Au, air , CO2

When the sensor exposed to CO2 , the following electrodes reaction occurs :

Cathodic reaction :  $2Li + + CO2 + 1/2O2 + 2e^- = Li2CO3$

Anodic reaction :  $2Na + + 1/2O2 + 2e^- = Na2O$

Overall chemical reaction :  $Li2CO3 + 2Na + = Na2O + 2Li + + CO2$

The Electromotive force( EMF ) result from the above electrode reaction, accord with according to Nernst's equation :

$$EMF = E_c - (R \times T) / (2F) \ln (P(CO_2))$$

$P(CO_2)$  - CO2--- partial Pressure  $E_c$  - Constant Volume  $R$  - Gas Constant volume

$T$  - Absolute Temperature ( K )  $F$  - Faraday constant

From Figure 1B , Sensor Heating voltage supplied from other circuit , When its surface temperature is high enough , the sensor equals to a cell, its two sides would output voltage signal ,and its result accord with Nernst's equation. In sensor testing, the impedance of amplifier should be within 100 - 1000G  $\Omega$  , Its testing current should be control below 1pA.

Specifications :

Symbol	Parameter Name	Technical	Remarks
$V_H$	Heating Voltage	$6.0 \pm 0.1$ V	AC or DC
$R_H$	Heating Resistor	$30.0 \pm 5\%$ $\Omega$	Room Temperature
$I_H$	Heating Current	@200mA	
$P_H$	Heating Power	@1200mW	
$T_{ao}$	Operating Temperature	-20 – 50	
$T_{as}$	Storage Temperature	-20 – 70	
$E_{EMF}$	Output	30 – 50mV	350 – 10000ppmCO2

Sensitivity :

Figure 2 Shows gas sensor sensitivity curve. :

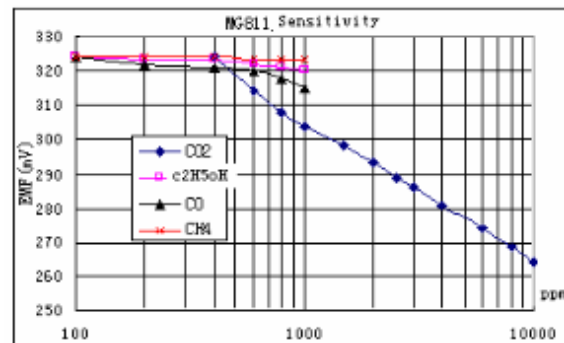
Conditions:

Tem : 28°C,

RH : 65%,

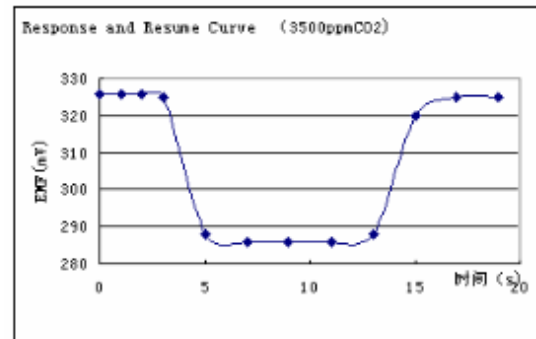
Oxygen : 21%

EMF: sensor EMF under different gas and concentration .

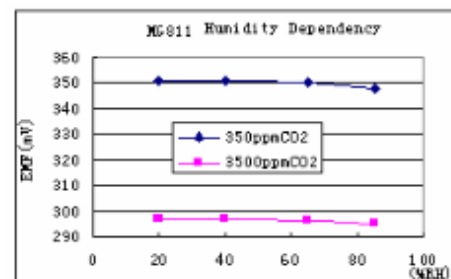
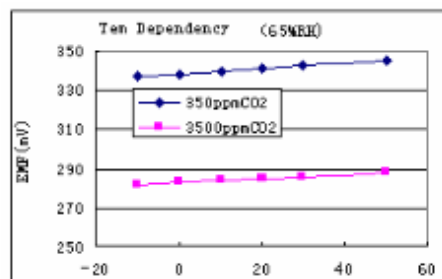


Response and Resume Characteristic :

Figure 3 shows Solid electrolyte sensor response and resume characteristics.



Temperature and Humidity Dependency :



## Anexo 7. Datasheet del sensor de guva-s12s



# GUVA-S12SD



### TECHNICAL DATA

## UV-B Sensor

#### Features

- Gallium Nitride Based Material
- Schottky-type Photodiode
- Photovoltaic Mode Operation
- Good Visible Blindness
- High Responsivity & Low Dark Current

#### Applications

- UV Index Monitoring
- UV-A Lamp Monitoring

#### Absolute Maximum Ratings

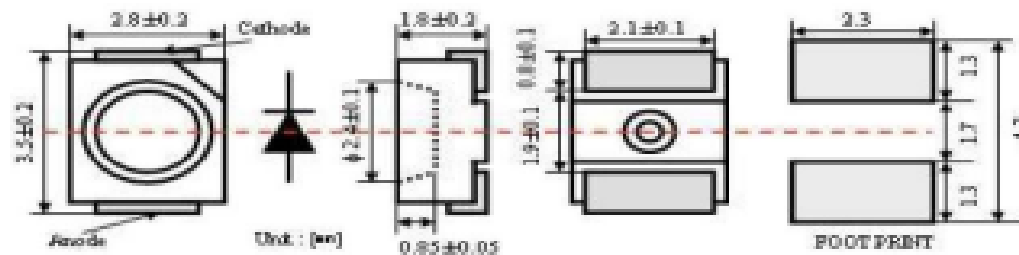
Item	Symbol	Value	Unit
Forward Current	$I_F$	1	mA
Reverse Voltage	$V_R$	5	V
Operating Temperature	$T_{OP}$	-30 ... +85	°C
Storage Temperature	$T_{ST}$	-40 ... +90	°C
Soldering Temperature *	$T_{SOL}$	260	°C

\* must be completed within 10 seconds

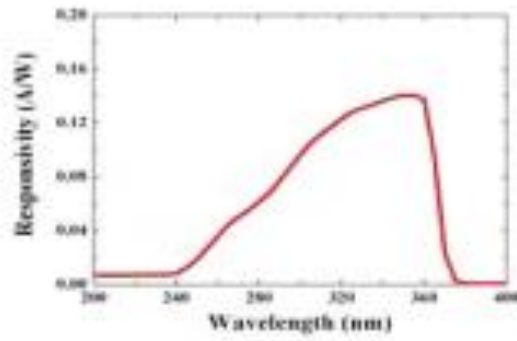
#### Characteristics (25°C)

Item	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Dark Current	$I_D$	$V_R = 0.1 V$	-	-	1	nA
Photo Current	$I_{PH}$	UVA Lamp, 1 mW/cm <sup>2</sup>	-	113	-	nA
		1 UVI	-	26	-	nA
Temperature Coefficient	$I_{TC}$	UVA Lamp	-	0.08	-	% / °C
Responsivity	R	$\lambda = 300 nm, V_R = 0 V$	-	0.14	-	A/W
Spectral Detection Range	$\lambda$	10% of R	240	-	370	nm

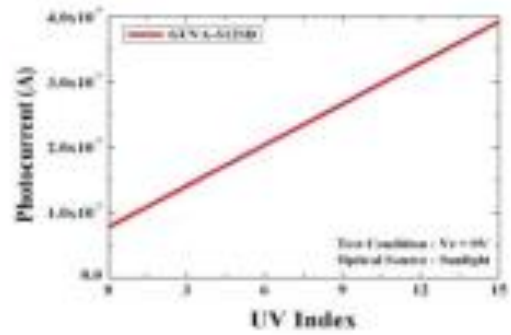
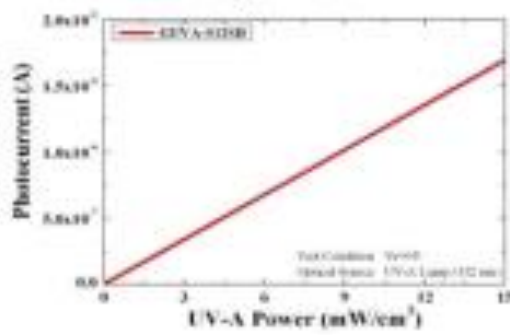
#### Package Dimension



### Responsivity Curve



### Photocurrent along UV Power





**RS-NPK-N01-TR**  
**Soil nitrogen, phosphorus,**  
**potassium three-in-one**  
**fertility sensor**  
**(Type 485)**  
**user's Guide**

Document version: V1.0

## 1. product description

### 1.1 product description

The soil nitrogen, phosphorus, and potassium three-in-one fertility sensor is suitable for detecting the content of nitrogen, phosphorus, and potassium in the soil, and determining the fertility of the soil by detecting the content of nitrogen, phosphorus, and potassium in the soil, thereby facilitating the systematic assessment of the soil condition. Can be buried in the soil for a long time, resistant to long-term electrolysis, corrosion resistance, vacuum potting, completely waterproof.

The sensor is widely used in soil nitrogen, phosphorus, potassium detection, precision agriculture, forestry, soil research, geological exploration, plant cultivation and other fields.

### 1.2 Features

- 1) Low threshold, few steps, fast measurement, no reagents required, unlimited detection times.
- 2) High measurement accuracy, fast response speed and good interchangeability.
- 3) The electrode is made of a specially treated alloy material, which can withstand strong external force and is not easy to be damaged.
- 4) Completely sealed, resistant to acid and alkali corrosion, can be buried in the soil for long-term dynamic testing.
- 5) Probe insertion design ensures accurate measurement and reliable performance.

### 1.3 technical parameter

DC powered (default)	DC 5-30V	
Maximum power consumption	≤0.15W (@12V DC, 25℃)	
Operating temperature	0℃~55℃	
NPK parameters	Range	1-1999 mg/kg(mg/L)
	Resolution	1 mg/kg(mg/L)
	Precision	±2%FS
Response time	<1S	
Protection class	IP68	
Probe material	stainless steel	
Sealing material	Black flame retardant epoxy resin	
Default cable length	2 meters, cable length can be customized	
Dimensions	45*15*123mm	
output signal	RS485(Modbus protocol)	

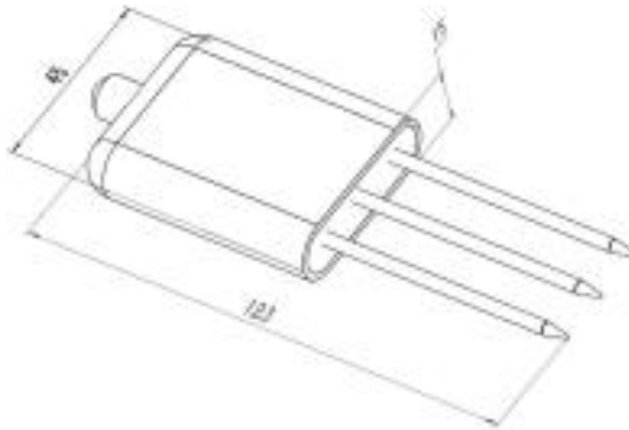
### 1.4 product model

RS-		Company code
	N-	Soil nitrogen content transmitter



	P		Soil phosphorus content transmitter
	K		Soil potassium content transmitter
	NPK		Soil nitrogen, phosphorus, potassium three-in-one transmitter
		N01-	RS485 (Modbus-RTU protocol)
		TR	Soil testing enclosure

## 2. Dimensions



Equipment dimension drawing (unit: mm)

## 3. Instructions

### 3.1 Quick test method

Select a suitable measurement location, avoid stones, and ensure that the steel needle does not touch hard objects. Discard the topsoil according to the required measurement depth, and maintain the original tightness of the soil below. Hold the sensor vertically and insert it into the soil. It is not allowed to shake left and right, it is recommended to measure multiple times to find the average value within a small range of one measurement point.



### 3.2 Buried survey

Vertically dig a pit with a diameter of  $\varnothing$  20cm, insert the sensor steel needle horizontally into the pit wall at a predetermined depth, bury the pit tightly, and stabilize it for a period of time, then you can perform continuous measurement for several days, months, or even longer.



### 3.3 Precautions

1. All steel needles must be inserted into the soil during measurement.
2. Avoid direct sunlight on the sensor, which will cause excessive temperature. Pay attention to lightning protection in the field.
3. Do not bend the steel needle violently, do not pull the sensor lead wire with force, and do not heat or violently

hit the sensor.

4. The protection grade of the sensor is IP68, which can soak the sensor in water.

5. Due to the presence of radio frequency electromagnetic radiation in the air, it should not be energized in the air for a long time.

## 4. Equipment installation instructions

### 4.1 Check before equipment installation

Equipment List:

■ 1 sensor device

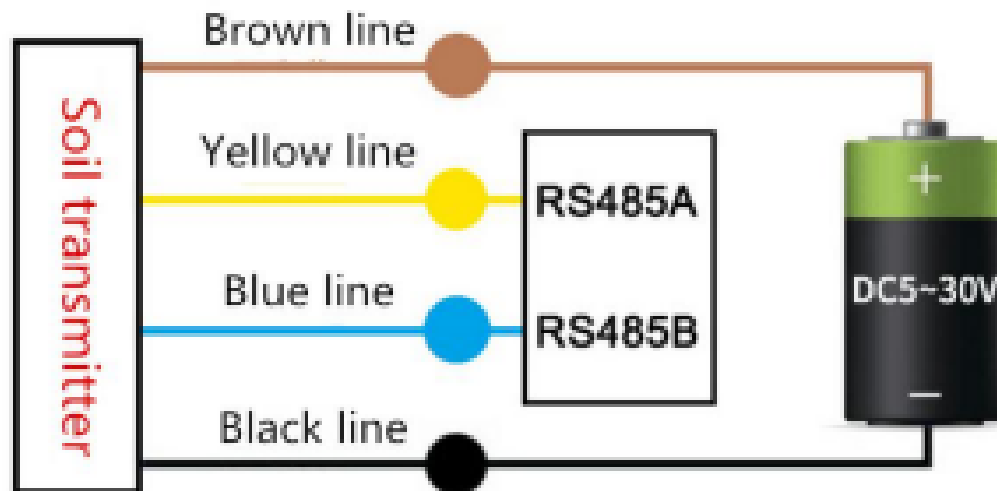
■ Certificate of conformity, warranty card

### 4.2 Interface Description

Wide voltage power input can be 5 ~ 30V. When wiring the 485 signal line, pay attention that the two lines A and B cannot be reversed, and the addresses between multiple devices on the bus must not conflict.

### 4.3 Wiring instructions

Thread color	Description	Note
brown	Power supply	5~30V DC
black	Negative power	GND
yellow	485-A	485-A
blue	485-B	485-B



## 5. Configuration software installation and use

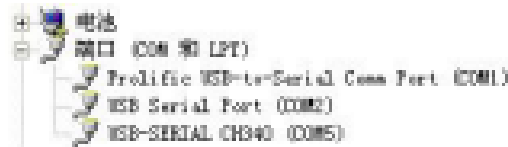
### 5.1 Software selection

Open the package and select "Debugging Software" --- "485 Parameter Configuration Software" and

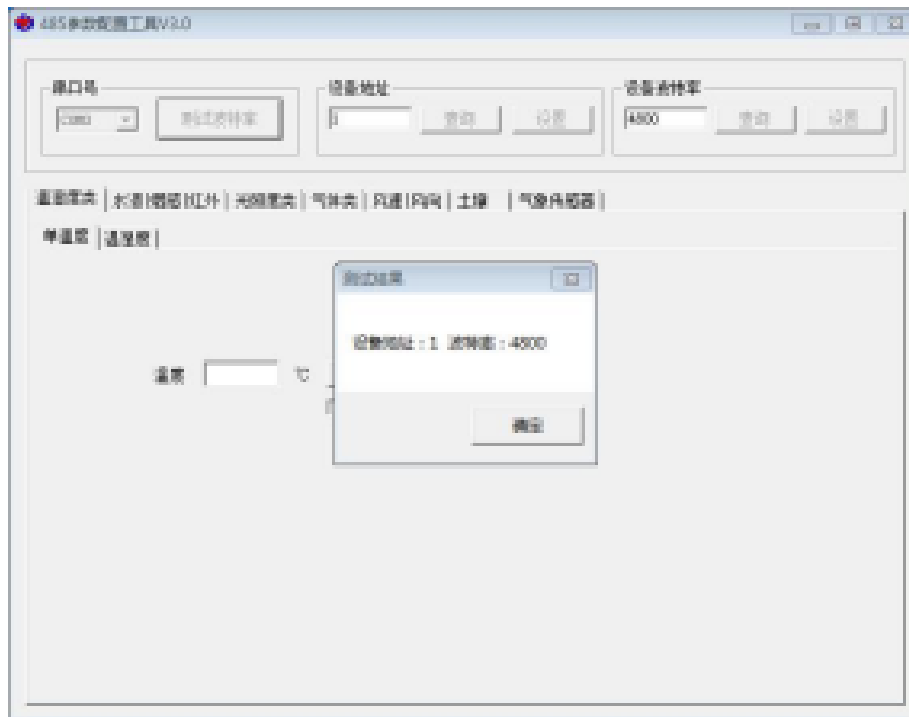
unclassified open a.

## 5.2 parameter settings

- ① Select the correct COM port (check the COM port in "My Computer-Properties-Device Manager-Port"). The following figure lists several different 485 converter driver names.



- ② Connect only one device and power on. Click the software to test the baud rate. The software will test the baud rate and address of the current device. The default baud rate is 4800bit / s and the default address is 0x01.
- ③ Modify the address and baud rate according to the needs of use, and can query the current function status of the device.
- ④ If the test is unsuccessful, please recheck the equipment wiring and 485 driver installation.



## 6.letter of agreement

### 6.1Basic communication parameters

Code	8-bit binary
------	--------------



Data bit	8-bit
Parity bit	NO
Stop bit	1-bit
Error checking	CRC (Redundant cyclic code)
Baud rate	Can be set, factory default is 4800bit / s

## 6.2 Data frame format definition

Modbus-RTU communication protocol is adopted, the format is as follows:

Initial structure ≥ 4 bytes of time

Address code = 1 byte

Function code = 1 byte

Data area = N bytes

Error check = 16-bit CRC

Ending structure ≥ 4 bytes of time

**Address code:** It is the address of the transmitter, which is unique in the communication network (factory default 0x01).

**Function code:** Function instruction of the command sent by the host.

**Data area:** The data area is the specific communication data. Note that the high byte of the 16bits data comes first!

**CRC code:** two-byte check code.

Host inquiry frame structure:

address code	function code	Register start address	Register length	Checksum low byte	Checksum high byte
1byte	1byte	2byte	2byte	1byte	1byte

Slave response frame structure:

address code	function code	Number of valid bytes	Data area	Data area 2	Data N area	Checksum low byte	Checksum high byte
1byte	1byte	1byte	2byte	2byte	2byte	1byte	1byte

## 6.3 Register address

Register address	PLC or configuration address	content	operating	Definition
001E H	40031 (Decimal)	Nitrogen content	Read-only	Real-time nitrogen content



001F H	40032 (Decimal)	Phosphorus content	Read-only	Real-time value of phosphorus content
0020 H	40033 (Decimal)	Potassium content	Read-only	Real-time potassium content
03E8 H	41001 (Decimal)	Nitrogen content coefficient High sixteen	Read and write	actual value (IEEE754 standard floating point)
03E9 H	41002 (Decimal)	Nitrogen content coefficient Lower sixteen	Read and write	
03EA H	41003 (Decimal)	Calibration value of nitrogen content	Read and write	Integer
03F2 H	41011 (Decimal)	Phosphorus content coefficient High sixteen	Read and write	actual value (IEEE754 standard floating point)
03F3 H	41012 (Decimal)	Phosphorus content coefficient Lower sixteen	Read and write	
03F4 H	41013 (Decimal)	Calibration value of phosphorus content	Read and write	Integer
03FC H	41021 (Decimal)	Potassium content coefficient High sixteen	Read and write	actual value (IEEE754 standard floating point)
03FD H	41022 (Decimal)	Potassium content coefficient Lower sixteen	Read and write	
03FE H	41023 (Decimal)	Calibration of potassium	Read and write	Integer
07D0 H	42001 (Decimal)	Device address	Read and write	1~254 (Factory default1)
07D1 H	42002 (Decimal)	Device baud rate	Read and write	0 for 2400 1 for 4800 2 for 9600

#### 6.4 Communication protocol example and explanation



**6.4.1 Example: Read the real-time value of nitrogen content at device address 0x01**

Inquiry frame

address code	function code	starting address	Data length	Checksum low byte	Checksum high byte
0x01	0x03	0x00 0x1E	0x00 0x01	0xE4	0x0C

Response frame

address code	function code	Returns the number of valid bytes	Nitrogen content	Checksum low byte	Checksum high byte
0x01	0x03	0x02	0x00 0x20	0xB9	0x9C

Calculation of nitrogen content:

Nitrogen content: 0020 H (hexadecimal) = 32 => nitrogen = 32mg / kg

**6.4.2 Example: Read the real-time value of phosphorus content at device address 0x01**

Inquiry frame

address code	function code	starting address	Data length	Checksum low byte	Checksum high byte
0x01	0x03	0x00 0x1F	0x00 0x01	0xB5	0xCC

Response frame

address code	function code	Returns the number of valid bytes	Phosphorus content	Checksum low byte	Checksum high byte
0x01	0x03	0x02	0x00 0x25	0x79	0x9F

Calculation of phosphorus content:

Phosphorus content: 0025 H (hexadecimal) = 37 => phosphorus = 37mg / kg

**6.4.3 Example: Read the real-time value of potassium content at device address 0x01**

Inquiry frame

address code	function code	starting address	Data length	Checksum low byte	Checksum high byte
0x01	0x03	0x00 0x20	0x00 0x01	0x85	0xC0

**Anexo 9.** Datasheet del router 4g lte huawei b612s-51d cat6 300mbs



**HUAWEI B612s-25d LTE CPE  
V100R001  
Product Description**

**Issue** 02  
**Date** 2017-07-20

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.



Figure 1-1 B612s-25d appearance



## 2 Features

The B612s-25d mainly supports the following features:

- Access to LTE wireless networks
- Access to Gigabit Ethernet networks
- High-speed data access
  - LTE FDD: DL 300 Mbit/s, UL 50 Mbit/s
  - LTE TDD: DL 210 Mbit/s, UL 10 Mbit/s
  - DC-HSPA+: DL 42 Mbit/s, UL 5.76 Mbit/s
  - HSPA+: DL 21 Mbit/s (64QAM) / 28 Mbit/s (MIMO), UL 5.76 Mbit/s
  - HSPA: DL 14.4 Mbit/s, UL 5.76 Mbit/s
  - WCDMA PS: 384 kbit/s
  - EDGE: DL 296 kbit/s, UL 236.8 kbit/s
  - GPRS: 85.6 kbit/s
- Complies with wireless 802.11b/g/n standards with data rates up to 300 Mbit/s
- SMS
- IPv4 /IPv6 dual stack
- Compatibility with RJ11 telephone ports; support VoLTE voice(customizable function), can be set to Voice over Internet Protocol (VoIP) voice mode or Circuit Switch (CS) voice mode
- External LTE antenna port
- Support for Huawei HiLink App
- WPS 2.0
- HOTA updates
- Built-in DHCP Server, DNS RELAY and NAT
- Security services. Provides instant protection to block potential security risks and intrusion attempts
- Windows 7, Windows 8, Windows 8.1, Windows 10 (does not support Windows RT), MAC OS X 10.9, 10.10, 10.11 and 10.12 with latest upgrades
- User-friendly design of LED indicator. Easy to observe the status of equipment.

# 3 Technical Specifications

## 3.1 Hardware Specifications

**Table 3-1** Technical specifications of the B612s-25d main unit

Item	Description	
Technical standard	WAN	3GPP Release 11
	LAN	IEEE 802.3/802.3u
	WLAN	IEEE 802.11b/g/n
Working frequency band	LTE	B1/B3/B7/B8/B20/B38/B40/B41(2545~2655MHz)/B42/B43
	DC-HSPA+/HSPA+/HSPA/UMTS	B1/B8
	EDGE/GPRS/GSM	B2/B3/B5/B8
	4*4 MIMO	B3/B7/B20/B38/B40/B41/B42/B43
	WLAN	2.4GHz 2.422 GHz~2.472GHz
External port	<ul style="list-style-type: none"> <li>• One power adapter port</li> <li>• Three LAN port (RJ45)</li> <li>• One LAN/WAN port (RJ45)</li> <li>• One phone port (RJ11)</li> <li>• Two external LTE antenna ports (SMA)</li> <li>• One micro-SIM card slot</li> </ul>	
Antenna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Built-in LTE/UMTS/GSM primary antenna</li> <li>• Built-in LTE /UMTS secondary antenna</li> <li>• Built-in WLAN 2.4G antenna</li> </ul>	

Item	Description		
Indicator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• One Power indicator</li> <li>• One Internet status indicator</li> <li>• One Wi-Fi/WPS indicator</li> <li>• One LAN/WAN indicator</li> <li>• One group of signal strength indicators</li> </ul>		
Button	<ul style="list-style-type: none"> <li>• One Power button</li> <li>• One WPS button</li> <li>• One Reset button</li> </ul>		
Maximum transmit power	LTE	Conform to 3GPP Power Class 3 Definition	
	WLAN	2.4G	802.11b 16 dBm
			802.11g 16 dBm
			802.11n 16 dBm
Receiving sensitivity	LTE	Conform to 3GPP Definition	
	UMTS	Conform to 3GPP Definition	
	GSM	-104 dBm	
	WLAN	802.11b <sub>s</sub>	-83 dBm (11 Mbit/s)
		802.11g <sub>s</sub>	-69 dBm (54 Mbit/s)
		802.11n <sub>s</sub>	-67 dBm (65 Mbit/s)
Power consumption	< 12W		
AC/DC power supply	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AC: 100 V - 240 V</li> <li>• DC: 12 V/1 A</li> </ul>		
Dimensions (Maximum)	240mm × 155mm × 78mm		
Weight	About 430g (excluding the power adapter)		
Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Working temperature: 0°C to 40°C</li> <li>• Storage temperature: -20°C to +70°C</li> </ul>		
Humidity	5% - 95%( Non-condensing)		

## 3.2 Antenna and Radio Frequency Specifications

**Table 3-2** LTE main diversity antenna specifications

Item	Description
Frequency	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 703 MHz~960 MHz</li> <li>• 1452 MHz~1496 MHz</li> <li>• 1710 MHz~2690 MHz</li> <li>• 3400 MHz~3800 MHz</li> </ul>
Input impedance	50 Ω
Standing wave ratio	< 3
Efficiency	≥ -4 dB@703 MHz~960 MHz ≥ -3.5dB@1452 MHz~1496 MHz ≥ -3.5dB@1710 MHz~2690 MHz ≥ -3.5dB@3400 MHz~3800 MHz
Gain	Band 42/43: 4-5 dBi Band 1/3/7/38/40/41: 3-4 dBi Band 8/20: 1-2 dBi
Polarization	Linear polarization

**Table 3-3** WLAN 2.4 GHz antenna specifications

Item	Description
Frequency	2.401 GHz~2.485 GHz
Input impedance	50 Ω
Standing wave ratio	< 2
Efficiency	≥ -3dB
Gain	3 dBi
Polarization	Linear polarization

**Table 3-4** External antenna specifications

 **NOTE**

- The external antenna is an optional accessory. Signals may be weak in some areas; thus, you can choose whether to use the external antenna.
- The external antenna can be used indoor only. Put it near the window when using to get better signal.
- Avoid thunderstorms when using.

### 3.3 Software Specifications

Table 3-5 Software specifications

Item	Description		
Gateway	Supports the default route: 0.0.0.0.		
	Supports the default gateway address: 192.168.8.1.		
	Supports the Address Resolution Protocol (ARP).		
	Supports the Internet Control Message Protocol (ICMP).		
	Supports the domain name service (DNS).		
	NAT	Supports NAT and Network Address and Port Translation (NAPT), which complies with RFC2663, RFC3022, and RFC3027.	
		Supports CONE NAT.	
		Supports fragmented message identification during common NAT.	
	DHCP server	Enables and disables the DHCP server.	
Configures DHCP server address pools.			
Sets the lease time.			
VPN client	Support L2TP VPN client (When L2TP VPN client function is enabled, the throughput performance will slow down, the maximum speed can up to 50Mbps (dependent on network environment).)		
SMS	Writing/Sending/Receiving		
	Writing/Sending/Receiving extra-long messages		
Voice	VoIP	Supports the Session Initiation Protocol (SIP).	
		Supports G.711a/G.711u/G.726 (-24/-32)/G.722/G.729 for encoding and decoding.	
	CS voice	Supports CS voice communication over UMTS and GSM networks.	
		Supports the circuit switched fallback (CSFB).	
VoLTE	Customizable function		
Security	Enables and disables the firewall.		
	Filters LAN MAC addresses.		



Item	Description	
	Filters LAN IP addresses.	
	Filters URLs.	
	Supports demilitarized zone (DMZ).	
	Supports Universal Plug and Play (UPnP).	
	Supports Application Level Gateway (ALG).	
WLAN	Broadcasts and hides service set identifiers (SSIDs).	
	Supports WPS	
	Authentication	Supports Open System authentication.
		Supports encryption using wired equivalent privacy (WEP), Wi-Fi protected access preshared key (WPA /WPA2-PSK), and WPA2-PSK authentication.
		Supports the Advanced Encryption Standard (AES) encryption algorithm.
		Supports the TKIP and AES hybrid encryption algorithm.
	MAC address authentication	Supports the MAC address authentication whitelist.
		Supports the MAC address authentication blacklist.
		Supports a maximum of 10 MAC address entries.
		Supports automatic transmission rate adjustment.
Station management	Supports station status queries.	
	Supports a maximum of 32 connected stations.	
IPv6/IPv4 dual stack	DHCPv6/v4 server and client	
	DNSv6/v4 server and client	
	Display IPv6/v4 WAN address	
HUAWEI HiLink App	View the data traffic usage and SMS.	
	Manage the connected devices.	
	Change CPE's SSID and password.	
System requirements	Operating system: Windows 7, Windows 8, Windows 8.1, Windows 10 (does not support Windows RT), MAC OS X 10.9, 10.10, 10.11 and 10.12 with latest upgrades.	

Item	Description
	Hardware configuration: meets the configuration requirements of the operating system.

**Anexo 10.** Medidor de ph para el suelo



Acidic soil will cause the meter to wobble and drop.

intérieur à 7, le sol est acide. La plupart des plantes intérieures préfèrent un sol légèrement acide, où le pH se situe entre 6,5 et 7. Si le sol est très alcalin, les feuilles prendront leur couleur en plus d'arrêter la croissance de la plante. Si le sol est acide, les feuilles se flétriront et tomberont.

plantas interiores prefieren un suelo levemente ácido con un pH entre 6,5 y 7. Si el suelo es sumamente alcalino provocará que las hojas pierda su color y atrofiará el crecimiento de la planta. El suelo ácido provocará que las hojas se marchiten y caigan.

**MOISTURE & LIGHT READINGS CHART**  
**TABLEAU DES LECTURES D'HUMIDITÉ ET DE LUMIÈRE**  
**GRÁFICO PARA LECTURA DE HUMEDAD Y DE LUZ**

(M) MOISTURE - Add water when meter reads this number or less.  
 (L) LIGHT - The minimum light needed for at least 16 hours per day.

(M) HUMIDITÉ - Arrosez lorsque l'appareil indique cette valeur ou moins.  
 (L) LUMIÈRE - Quantité minimale de lumière pendant au moins 16 heures par jour.

(M) HUMEDAD - Agregue agua cuando el medidor muestra este número o menos.  
 (L) LUZ - La luz mínima necesaria durante 16 horas diarias por lo menos.

PLANT	(L)	(M)	PLANT	(L)	(M)
African Violet	500-2000	6	Hawaiian TI	500-2000	6
Aglaonema	50-500	7	Hoya	500-2000	4
Aphelandra	100-1000	9	Ivy, English	500-2000	7
Aralia	100-1000	7	Ivy, Grape	100-1000	6
Ardisia	100-1000	6	Ivy, Swedish	500-2000	7
Azalea	500-2000	6	Jade Plant	500-2000	3
Baby's Tears	100-1000	9	Kalancho	500-2000	4
Begonia	100-1000	7	Landscape Plants	500-2000	4
Bromeliad	50-500	4	Lawns	500-2000	5
Cactus	500-2000	3	Maranta	100-1000	8
Cladium	100-1000	8	Ming Aralia	500-2000	6
Chinese Evergreen	50-500	6	Nepthytis	100-1000	7
Christmas Cactus	100-1000	3	Norfolk Island Pine	500-2000	5
Coffee	100-1000	7	Palms	100-1000	8
Coleus	500-2000	6	<i>Areca, Bamboo, Fishtail, Kentia, Lady,</i>		
Crassula	500-2000	4	<i>Ponytail Pador</i>		
Croton	500-2000	6	Peperomia	100-1000	4
Cryptanthus	500-2000	4	Philodendron	100-1000	6
Dieffenbachia	100-1000	5	Pilea	100-1000	7
Dracaena	100-1000	8	Podocarpus	500-2000	8
<i>Janet Craig, Lance, Marginata, Wameckel</i>			Pothos	100-1000	6
Euonymus	100-1000	6	Prayer Plant	100-1000	6
False Aralia	500-2000	7	Rubber Plant	100-1000	4
Ferns	100-1000	4	Sansevieria	100-1000	3
<i>Birds Nest, Boston, Bear's Paw, Cycus, Holly,</i>			Schefflera	500-2000	6
<i>Maidenhair, Mini Rabbit's Foot, Pteris, Staghorn</i>			Scindapsus	100-1000	6
Ficus	100-1000	4	Spathiphyllum	50-500	6
Fiddleleaf Fig	100-1000	4	Spider Plant	100-1000	4
Fittonia	100-1000	6	Spineless Yucca	500-2000	3
Flame Violet	100-1000	6	Succulents & Cactus	500-2000	3
Gynura	500-2000	6	Tiger Jaws	500-2000	4
			Wandering Jew	100-1000	4
			Zebra Plant	500-2000	6

REMOVE PROBES FROM SOIL AND WIPE CLEAN AFTER EACH USE.  
 RETIREZ LES SONDES DU SOL ET ESSUYEZ-LES APRÈS CHAQUE UTILISATION  
 RETIRE LAS SONDAS DEL SUELO Y LÍMPIELAS DESPUÉS DE CADA USO.

## Anexo 11. Certificado traducción abstract

### CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Lic. Díaz Lalangui Edwin Galo, PhD.

**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACION EN LA ESPECIALIDAD DE  
IDIOMA INGLÉS**

CERTIFICA:

Que el resumen del trabajo de titulación final denominado **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN BASADA EN EL INTERNET DE LAS COSAS (IOT) PARA EL CULTIVO DE MAÍZ PARA LA "ASOCIACIÓN AGROPECUARIA GUACACOCHA"**, del estudiante **Eras Díaz Leoncio Fabricio**, portador de la cédula de ciudadanía **1104665086**, estudiante de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Facultad de la Energía, las industrias y los recursos naturales no renovables de la Universidad Nacional de Loja, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, es una fiel traducción del idioma español al inglés.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del mismo en lo que estime conveniente.

Loja, 03 de abril del 2023



Lic. Díaz Lalangui Edwin Galo, PhD.

**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACION EN LA ESPECIALIDAD DE  
IDIOMA INGLÉS**

CL 1101937206

Registro Senescyt: 1008-03-464215