

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Boyas Multisensoriales para el Monitoreo de Posibles Áreas
Vulnerables a la Proliferación de la Cianobacteria en el Lago
de Atitlán**

Trabajo de graduación presentado por Paulina Cano Ruiz para optar al
grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2020

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería




**Boyas Multisensoriales para el Monitoreo de Posibles Áreas
Vulnerables a la Proliferación de la Cianobacteria en el Lago
de Atitlán**

Trabajo de graduación presentado por Paulina Cano Ruiz para optar al
grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2020

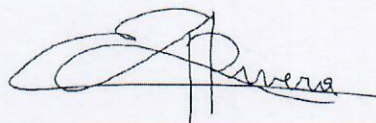
Vo.Bo.:



(f)

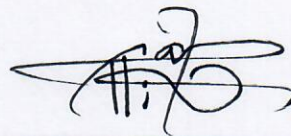
Dr. Luis Alberto Rivera Estrada

Tribunal Examinador:



(f)

Dr. Luis Alberto Rivera Estrada



(f)

MSc. Carlos Alberto Esquit



(f)

MAEB. Pablo Daniel Mazariegos

Fecha de aprobación: Guatemala, 16 de junio de 2020

Este trabajo está elaborado por una estudiante de último año de la carrera de ingeniería mecatrónica. La elaboración de la presente tesis surgió del interés personal de poder ayudar al medio ambiente y a mi país, Guatemala.

Durante el transcurso de mi carrera, siempre mostré un especial interés en realizar proyectos o investigaciones sobre temas relacionados a tecnologías amigables con el ambiente.

Por mucho tiempo observé las noticias del problema de la cianobacteria en Guatemala, no podía creer como un lugar tan turístico como lo es el lago de Atitlán podría haber llegado a tener un significativo florecimiento de la cianobacteria y que las autoridades no hicieran o tomaran medidas drásticas al respecto.

Por eso, estoy segura que la mayoría de los problemas ambientales que se tienen en Guatemala se pueden resolver mediante tecnologías innovadoras, es mi mayor inspiración para la realización de este trabajo.

La Universidad del Valle de Guatemala nos exhorta a razonar para la creación de nuevas ideas viables para llevar a cabo en nuestro país. Esta universidad está apostando por la tecnología, y en los próximos años se podrá ver que gracias a este apoyo, la tecnología estará al rescate de nuestro medio ambiente.

Prefacio	v
Lista de figuras	XIII
Lista de cuadros	XVI
Resumen	XVII
Abstract	XIX
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1. A Low-Cost Sensor Buoy System for Monitoring Environments	3
2.2. CIANOALERT	4
2.3. MPC-Buoy	5
2.3.1. Monitoreo de calidad de agua	5
2.3.2. Predicción de floraciones de algas	5
2.3.3. Control de algas con ultrasonido	5
2.4. Actualidad de la toma de datos para el monitoreo de la cianobacteria	6
3. Justificación	7
4. Objetivos	9
4.1. Objetivo general	9
4.2. Objetivos específicos	9
5. Alcance	11
6. Marco teórico	13
6.1. La calidad del agua	13
6.1.1. Factores que determinan la calidad del agua	14
6.1.2. Constituyentes de la calidad del agua	14
6.1.3. Índice de calidad de agua	17

6.2. El lago de Atitlán	17
6.3. La cianobacteria	18
6.3.1. Metodologías actuales y avanzadas en la detección e identificación de floraciones de cianobacterias y sus toxinas	18
6.3.2. Hábitats	18
6.3.3. Efectos ecológicos	19
6.4. Actualidad de la cianobacteria en el lago de Atitlán	19
6.5. Flotabilidad	20
6.5.1. Procedimiento para resolver problemas de flotabilidad	20
6.6. Arduino MEGA 2560	21
6.6.1. Características técnicas del arduino MEGA	21
6.6.2. Ventajas de utilizar arduino	21
6.6.3. Comunicación serial	22
6.7. Módulo GSM SIM800L	22
6.8. Módulo NEO6M GPS	23
6.9. Módulo A6 GSM GPRS	24
6.9.1. Características	24
6.9.2. Especificación	24
6.10. Comandos AT	25
6.11. Sensor de oxígeno disuelto	25
6.12. Sensor de temperatura DS18B20	26
6.13. Sensor de turbidez	27
6.14. Sensor analógico de pH	28
6.15. Sensor de la velocidad del viento (anemómetro)	29
6.16. Estatus limnológico del lago de Atitlán	30
6.16.1. Transparencia	30
6.16.2. Temperatura	31
6.16.3. Oxígeno disuelto	31
6.16.4. Turbiedad	32
6.16.5. Potencial de hidrógeno (pH)	33
6.16.6. Velocidad del viento	33
6.16.7. Clorofila y ficocianina	34
6.16.8. Fitoplancton	34
7. Módulos electrónicos del sistema	37
7.1. Funcionamiento del módulo GSM SIM800L	37
7.1.1. Primera prueba módulo GSM SIM800L	37
7.1.2. Segunda prueba módulo GSM SIM800L	38
7.1.3. Tercer prueba del módulo GSM SIM800L	39
7.2. Funcionamiento del módulo GPS6MV2	40
7.3. Implementación del módulo GSM y el módulo GPS	41
8. Sensor analógico de oxígeno disuelto	43
8.1. Preparación y calibración de la sonda del sensor	43
8.1.1. Preparación de la sonda	43
8.1.2. Calibración de la sonda	44
8.2. Pruebas del sensor	44
8.2.1. Sensor de oxígeno disuelto sumergido en agua potable	46

8.2.2. Sensor de oxígeno disuelto sumergido en agua gaseosa	46
8.2.3. Sensor de oxígeno disuelto sumergido en leche	47
9. Sensor analógico de pH	49
9.1. Precauciones de uso	49
9.2. Pruebas del sensor analógico de pH	49
9.2.1. Pruebas del sensor de pH en agua potable	50
9.2.2. Pruebas del sensor de pH en leche	51
9.2.3. Pruebas del sensor de pH en jugo de naranja	51
10. Sensor analógico de turbidez	53
10.1. Pruebas del sensor analógico de turbidez	54
10.1.1. Prueba del sensor de turbidez con agua limpia	54
10.1.2. Prueba del sensor de turbidez en vaso con agua y media cucharada de café	55
10.1.3. Prueba del sensor de turbidez en vaso con agua y una cucharada de café	55
11. Sensor de temperatura	57
11.1. Pruebas del sensor de temperatura	57
11.1.1. Prueba del tiempo de estabilidad del sensor de temperatura	57
11.1.2. Prueba del sensor de temperatura con toma de temperatura corporal	58
11.1.3. Prueba del sensor de temperatura con agua caliente	58
11.1.4. Prueba del sensor de temperatura con agua fría	60
12. Sensor de velocidad de viento	61
13. Pruebas con sensores integrados	63
13.1. Pruebas realizadas a los sensores	64
13.1.1. Sensor de temperatura	65
13.1.2. Sensor de velocidad de viento	67
13.1.3. Sensor de turbidez	69
13.1.4. Sensor de pH	71
13.1.5. Sensor de oxígeno disuelto	73
13.2. Observaciones	74
14. Integración de módulos GSM y GPS con red de sensores	75
14.1. Integración con módulo GSM	75
14.2. Integración con módulo GPS	77
15. Diseño de la boya	79
15.1. Primer prototipo	79
15.2. Segundo prototipo	80
15.3. Tercer prototipo	81
15.3.1. Tercer prototipo físico	81
16. Cuarto prototipo e integración de módulos	83
16.1. Elaboración	83
16.2. Pruebas realizadas al cuarto prototipo	84
16.2.1. Prueba con agua potable a temperatura ambiente	85

16.2.2. Prueba de agua potable con aire	86
16.2.3. Prueba de agua potable con hielo	87
16.2.4. Prueba de agua potable a temperatura ambiente con Pepsi Cola	88
16.2.5. Prueba de agua potable a temperatura ambiente con jabón	89
16.2.6. Prueba de agua potable a temperatura ambiente con café	90
17. Quinto prototipo	91
17.1. Diseño del quinto prototipo	91
17.2. Elaboración del quinto prototipo	94
18. Sistema final	97
18.1. Diseño y elaboración del sistema final	97
18.1.1. Flotabilidad del sistema final	98
18.1.2. Elaboración del sistema final	100
18.2. Pruebas del sistema final	101
18.2.1. Escenario de control (agua potable, sin aire)	101
18.2.2. Escenario con Pepsi Cola	102
18.2.3. Escenario con Pepsi Cola y hielo	103
18.2.4. Escenario con café disuelto	104
18.2.5. Escenario con café y aire	105
18.2.6. Escenario de control con aire	106
18.3. Cotización del sistema final	107
18.4. Comparación de precios con otras boyas	109
19. Conclusiones	111
20. Recomendaciones	113
21. Bibliografía	115

Lista de figuras

1. Componentes de la boya [1]	3
2. Configuración del sistema de alerta CIANOALERT [2]	4
3. Impacto del ultrasonido en las algas	6
4. Pines del módulo GSM [19]	22
5. Pines del módulo NEO6M GPS [20]	23
6. Sensor de oxígeno disuelto [23]	26
7. Sensor de temperatura [24]	26
8. Sensor de turbidez [25]	27
9. Sensor de pH [26]	29
10. Sensor de velocidad [28]	30
11. Variación espacial y temporal del oxígeno disuelto desde abril del 2014 a octubre del 2019 [15]	31
12. Turbiedad del lago de Atitlán [29]	32
13. Variación espacial y temporal de pH en el sitio de muestreo WG [15]	33
14. Variación de velocidad del viento y precipitación. Lago de Atitlán. 2013 [30]	34
15. Dinámica del fitoplancton durante los años 2017 - 2019 [15]	35
16. Densidad promedio de cianobacterias en el lago de Atitlán [15]	35
17. Eventos de florecimientos registrados en el lago de Atitlán durante el 2017 al 2019. [15]	36
18. Código para escribir y recibir mensajes al módulo GSM SIM800L	37
19. Resultado de escribir comandos AT en el módulo GSM SIM800L	38
20. Función que envía un mensaje al destinatario	38
21. Primera prueba de envío de mensaje	39
22. Primera prueba de envío de mensaje	39
23. Primera prueba de envío de mensaje	40
24. Código de la implementación del módulo GPS	40
25. Prueba de las coordenadas del módulo GPS	41
26. Código de la implementación del módulo GPS y el módulo GSM	41
27. Sensor de oxígeno disuelto	43
28. Lectura del sensor antes de la calibración	44

29. Lectura del sensor antes de la calibración	45
30. Relación entre turbidez y voltaje medido [25]	53
31. Vaso con agua limpia	54
32. Vaso con media cucharada de café disuelta en agua	55
33. Vaso con una cucharada de café disuelta en agua	56
34. Imagen de termómetro corporal indicando 36.2°C	58
35. Imagen de termómetro corporal indicando la temperatura del agua caliente	59
36. Gráfica de velocidad del aire - Voltaje generado por el sensor [28]	61
37. Gráfica de velocidad del aire - Voltaje generado por el sensor experimentalmente	62
38. Prueba de temperatura baja	65
39. Resultados prueba de temperatura baja	65
40. Prueba de temperatura media	66
41. Resultados prueba de temperatura media	66
42. Prueba de temperatura alta	67
43. Resultados prueba de temperatura alta	67
44. Prueba de velocidad sin viento	68
45. Resultados prueba de velocidad sin viento	68
46. Prueba de velocidad con viento bajo	68
47. Resultados prueba de velocidad con viento bajo	69
48. Resultados prueba de velocidad con viento alto	69
49. Prueba de turbidez baja	70
50. Resultados prueba de turbidez baja	70
51. Prueba de turbidez alta	70
52. Resultados prueba de turbidez alta	71
53. Prueba de pH bajo	71
54. Resultados prueba de pH bajo	72
55. Prueba de pH alto	72
56. Resultados prueba de pH alto	72
57. Prueba oxígeno disuelto bajo	73
58. Resultados prueba de oxígeno disuelto bajo	73
59. Resultados prueba de oxígeno disuelto alto	74
60. Resultados prueba de envío de mensaje en agua de grifo	76
61. Resultados prueba de envío de mensaje en Pepsi cola	76
62. Proceso de envío de mensaje en módulo GSM	76
63. Resultados prueba envío de mensaje con información del GPS	77
64. Escenario planteado para la medición e integración de los sensores	77
65. Primer prototipo del diseño de la boya - Superior	79
66. Primer prototipo del diseño de la boya - Inferior	80
67. Segundo prototipo - cilindrico	80
68. Diseño de la parte inferior de la boya	81
69. Parte inferior de la boya	81
70. Canal realizado para el acople de la parte inferior con parte superior	82
71. Boya	82

72. Vista lateral del cuarto prototipo	83
73. Vista superior del cuarto prototipo	84
74. Prueba de cuarto prototipo en agua	85
75. Resultado de cuarto prototipo en agua	85
76. Cuarto prototipo en aguavirtiéndole aire	86
77. Resultado de cuarto prototipo en aguavirtiéndole aire	86
78. Cuarto prototipo en agua potable con hielo	87
79. Resultado de cuarto prototipo en agua potable con hielo	87
80. Cuarto prototipo en agua potable con Pepsi	88
81. Resultado de cuarto prototipo en agua potable con Pepsi Cola	88
82. Cuarto prototipo en agua potable con jabón	89
83. Resultado de cuarto prototipo en agua potable con jabón	89
84. Cuarto prototipo en agua potable con jabón	90
85. Resultado de cuarto prototipo en agua potable con café	90
86. Quinto prototipo de la boya, parte de abajo (vista frontal)	91
87. Quinto prototipo de la boya, parte de abajo (vista de planta)	92
88. Quinto prototipo de la boya, parte de arriba (vista frontal)	92
89. Quinto prototipo de la boya, parte de arriba (vista superior)	92
90. Quinto prototipo de la boya (vista frontal)	93
91. Quinto prototipo de la boya, parte de arriba (vista alzada)	93
92. Partes impresas en 3D para quinto prototipo	94
93. Partes unidas y verificación de peso del quinto prototipo	94
94. Integración de sensores al quinto prototipo impreso	95
95. Quinto prototipo flotando	95
96. Diseño del prototipo final desde diferentes vistas	97
97. Vista 3D del diseño para el sistema final	98
98. Diseño del sistema final impreso con flotadores	100
99. Vista exterior e interior del sistema final con sensores integrados	100
100. Boya colocada en escenario de control	101
101. Resultados de boya colocada en escenario de control	101
102. Boya colocada en escenario con Pepsi Cola	102
103. Resultados de boya colocada en escenario con Pepsi Cola	102
104. Boya colocada en escenario con Pepsi Cola y hielo	103
105. Resultados de boya colocada en escenario con Pepsi Cola y hielo	103
106. Boya colocada en escenario con café	104
107. Resultados de boya colocada en escenario con café	104
108. Boya colocada en escenario con café y aire	105
109. Resultados de boya colocada en escenario con café y aire	105
110. Boya colocada en escenario de control con aire	106
111. Resultados de boya colocada en escenario de control con aire	106

Lista de cuadros

1. Concentraciones de oxígeno disuelto	15
2. Tabla de comandos más frecuentes	25
3. Tiempo de estabilización del sensor de oxígeno disuelto	45
4. Resultado del oxígeno disuelto en agua potable	46
5. Resultado del oxígeno disuelto en agua gaseosa	47
6. Resultado del oxígeno disuelto en agua gaseosa después de 10 segundos	47
7. Resultado del oxígeno disuelto en leche	48
8. Tiempo de estabilización del sensor de pH	50
9. Resultado del pH puesto a prueba con agua purificada	50
10. Resultado del pH puesto a prueba con leche	51
11. Resultado del pH puesto a prueba con jugo de naranja	51
12. Resultado de prueba de turbidez en agua potable	54
13. Resultado de prueba de turbidez en agua potable con media cucharada de café	55
14. Resultado de prueba de turbidez en agua potable con una cucharada de café	56
15. Tiempo de estabilización del sensor de temperatura	58
16. Resultado de la temperatura corporal	59
17. Resultado de la temperatura de agua caliente	59
18. Resultado de la temperatura de agua caliente	60
19. Pruebas realizadas de voltaje por velocidad	62
20. Tabla comparativa entre voltaje teórico y voltaje experimental, según velocidad	62
21. Parámetros para prueba de funcionamiento de sensores	64
22. Pines correspondientes a cada sensor en el Arduino MEGA	64
23. Tabla de las propiedades físicas del quinto prototipo de la boya	93
24. Propiedades de la parte superior creada	98
25. Precios cotizados	107
26. Precios cotizados de sensores utilizados	108
27. Precios cotizados en CPX para envío a Guatemala	108

28. Cotización final de la boya construida	108
29. Precio de otras boyas	109

Este proyecto consiste en desarrollar una plataforma tipo boya a bajo costo, que permita por medio de sensores, encontrar puntos específicos en donde la cianobacteria esté más propensa a producir una proliferación.

La idea principal de este proyecto surge de la constante preocupación que se tiene en Guatemala sobre la eutrofización de la cianobacteria que surgió en lago de Atitlán hace unos años. Para poder hacerle un alto a este problema, se necesita primero saber en dónde es más propenso a que se prolifere, por eso, el objetivo es que este proyecto sea la primera de muchas boyas para mantener controlado de mejor manera el lago.

La boya cuenta con módulo GPS para obtener longitud, latitud, altitud, fecha y la hora específica en la que se obtienen los datos; con un módulo GSM que sirve para poder recibir y enviar datos de la boya hacia la base; y también, se incorpora una red de sensores, los cuales son, sensor de turbidez, sensor de pH, sensor de oxígeno disuelto, sensor de temperatura y sensor de velocidad del viento.

Todos estos módulos estarán colocados dentro de una boya flotante, que deberá contar con condiciones específicas de volumen sumergido, densidad del fluido y gravedad para poder contrarrestar el peso total de la boya lograr flotar de manera correcta.

Por último, estos parámetros serán utilizados por los expertos para poder distinguir si hay áreas propensas de eutrofización de la cianobacteria y así prevenir la proliferación de esta.

This project consists in developing a low-cost buoy-type platform, which allows, through sensors, to find specific points where the cyanobacterium is prone to proliferation. The idea of this project arises from the constant concern in Guatemala about the eutrophication of cyanobacteria that emerged in Lake Atitlan a few years ago. In order to stop this, it is necessary to know where it is more prone to be carried out, so the objective is that this project be carried out in larger quantities to keep the lake under control.

The buoy has a GPS module to obtain the latitude and altitude of the system, with a GSM module to receive and send data to the base. It incorporates a network of sensors, which are turbidity sensor, pH sensor, dissolved oxygen sensor, temperature sensor and wind speed sensor.

All these modules will be placed inside a floating buoy which will have to match with specific conditions of submerged volume, fluid's density and gravity in order to have an offset with the total weight of the buoy and achieve a correct buoyancy.

At last, all the parameters of the sensors will be used by experts to distinguish prone areas of cyanobacteria eutrophication and prevent its proliferation.

CAPÍTULO 1

Introducción

Es indiscutible que los avances tecnológicos del último siglo han llevado a toda una revolución para el ser humano, que ha visto como su calidad de vida asciende hasta límites que en el pasado nadie habría imaginado. Sin embargo, esta tecnología también ha evolucionado hasta convertirse en algún medio viable para salvaguardar la integridad de nuestro planeta.

Hoy en día, la relación que hay entre la naturaleza y la tecnología debe comprenderse, no como contrapuestos, sino como una oportunidad de interconexión, para que juntas nos den la oportunidad a los seres humanos de utilizarlas para obtener mejores resultados sin perjudicar ya sea, al avance tecnológico o a la naturaleza.

El fenómeno de la cianobacteria en la reserva del Lago de Atitlán, puso en evidencia la contaminación del territorio. La responsabilidad del rescate del Lago de Atitlán es común para todos los guatemaltecos, pero con responsabilidades compartidas y diferenciadas de acuerdo a los recursos que dispongamos.

En Guatemala, últimamente se ha estado apostando por utilizar tecnologías innovadoras en busca de la mejora del país. El caso de la proliferación de la cianobacteria en el Lago de Atitlán no ha sido la excepción.

2.1. A Low-Cost Sensor Buoy System for Monitoring Environments

Este proyecto se llevó a cabo en la Universidad Politécnica de Cartagena. Se realizó una boya que monitorea los ecosistemas marinos para determinar su condición. Los datos del sistema, fueron utilizados para el desarrollo de modelos matemáticos con los que se predijo el comportamiento de las condiciones del agua, el lecho marino y las criaturas vivientes del hábitat [1].

El diseño del sistema se basó en una serie de requisitos fundamentales que lo diferencia de otras propuestas, como el bajo costo de implementación, la posibilidad de aplicación en aguas costeras, dimensiones adecuadas, estabilidad del sistema en un entorno cambiante y total autonomía de suministro de energía y la grabación de datos [1].

El sistema se logró realizar con éxito, se monitoreó la temperatura del agua, la presión marina, temperatura atmosférica y presión atmosférica [1].

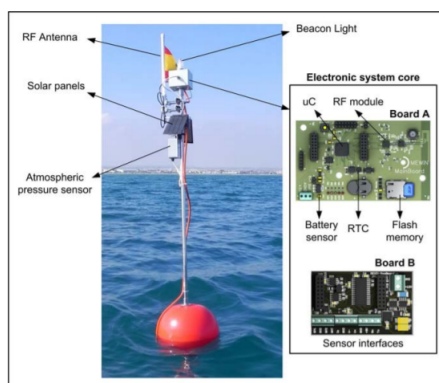


Figura 1: Componentes de la boya [1]

Para la primera prueba la boya se colocó en la desembocadura del puerto de Cartagena ($37^{\circ}35'22.08''\text{N}$, $0^{\circ}58'58.84''\text{W}$) y la estación base estaba localizada en las oficinas del Racing Club en el mismo puerto ($37^{\circ}35'44.92''\text{N}$, $0^{\circ}58'55.35''\text{W}$) [1].

La segunda prueba de campo se realizó en la Laguna del Mar Menor, esta prueba, se llevó a cabo para calcular el rango máximo de cobertura. La boya se colocó a distancias variables con el propósito de validar la cobertura de la comunicación. Para cada ubicación de la boya, se realizó la transmisión de cien 4-bytes para así contar el número de paquetes de bytes que se recibían [1].

2.2. CIANOALERT

Este proyecto aúna la monitorización sensorial autónoma con las tecnologías de teledetección con el fin de generar un sistema de alerta fiable, rápido e inteligente. Crea una alerta a tres niveles en el que, tras el modelaje de los datos obtenidos y la generación del sistema de alerta, cada uno de los sistemas confirmará el aviso del anterior para generar una alerta consistente e integral [2].

Este sistema de alerta temprana es ofrecido al usuario final mediante una plataforma online y aplicaciones móviles, con el propósito de controlar y/o paliar los posibles efectos adversos provocados por el crecimiento masivo de cianobacterias en el agua de interés [2].

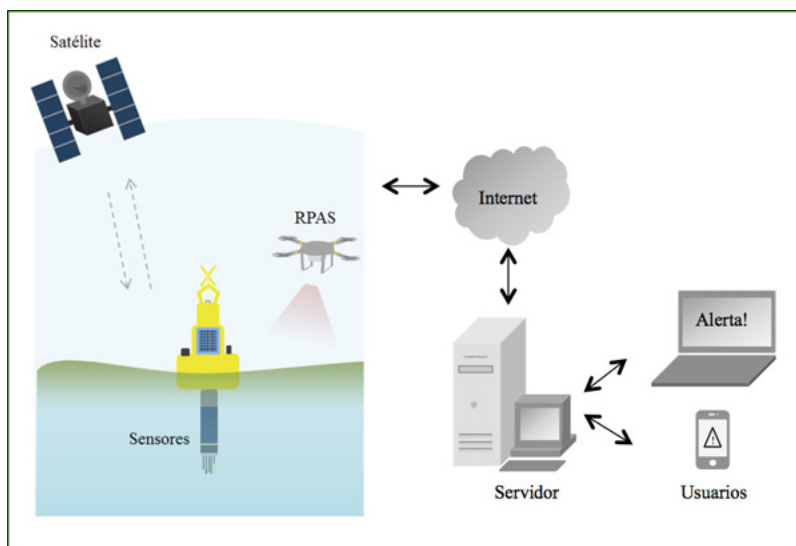


Figura 2: Configuración del sistema de alerta CIANOALERT [2]

El proyecto que se muestra en la Figura [2] CIANOALERT (Alerta inteligente contra las floraciones nocivas de cianobacterias para la industria del agua), se encuentra actualmente en fase experimental [2].

2.3. MPC-Buoy

El MPC-Buoy es un sistema flotante alimentado con paneles solares el cual combina monitoreo de la calidad del agua en tiempo real y ondas de ultrasonido para controlar las algas en lagos y reservorios de manera activa. Está especialmente diseñado para controlar las algas en grandes extensiones de agua como: Lagos y Reservorios [3].

Reduce el consumo de químicos, así como problemas de mal sabor en el agua, previene la obstrucción de las válvulas, filtros y rociadores, reduce los problemas del olor y previene liberación de peligrosas toxinas, aumenta la calidad del agua y la eficiencia en las torres de enfriamiento [3].

2.3.1. Monitoreo de calidad de agua

El MPC-Buoy ofrece un resumen completo de la calidad del agua al recopilar los siguientes parámetros cada 10 minutos:

- Clorofila (algas verdes)
- Ficocianina (algas azules-verdes)
- pH
- Turbidez
- Oxígeno disuelto
- Temperatura

2.3.2. Predicción de floraciones de algas

Los datos recopilados son entregados en tiempo real mediante radio, GPRS, o software de 3G a web [3].

2.3.3. Control de algas con ultrasonido

Basándose en la información recibida, los transmisores de ultrasonido es optimizado a las condiciones locales. Al usar presión de ultrasonido, se controlan las algas y cianobacterias. La presión de ultrasonido afecta la flotabilidad de las cianobacterias, causando su hundimiento y muerte [3].

¿Cuál es el impacto del ultrasonido en las algas?

1. Las algas verde-azules y unas algas verdes son capaces de desplazarse verticalmente en la columna de agua gracias a las vesículas del gas que poseen. Las ondas ultrasónicas crean una presión sónica en el estrato superior del agua [3].

2. Esta barrera de sonido ultrasónica impide a las algas que suban de la superficie para tomar luz solar, dificultándoles hacer la fotosíntesis. Este efecto frena el crecimiento acelerado de las algas [3].
3. Las algas se mueren mientras que la membrana de la célula se mantiene intacta, previniendo la liberación de las toxinas al agua. Las algas se hunden al fondo del cuerpo de agua y son degradadas por las bacterias presentes [3], este proceso se muestra en la Figura 3.

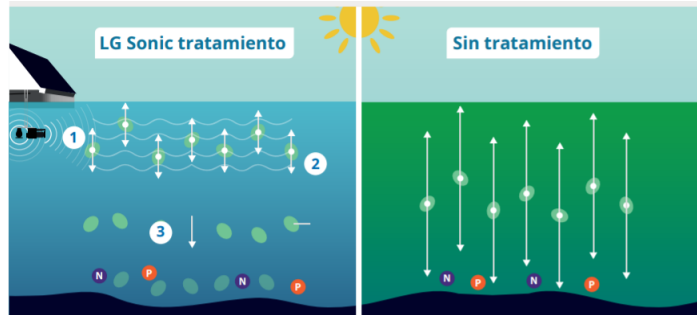


Figura 3: Impacto del ultrasonido en las algas

2.4. Actualidad de la toma de datos para el monitoreo de la cianobacteria

En el Lago de Atitlán existen grupos de investigación que son responsables de velar por el monitoreo del lago. En la actualidad se toman parámetros físicos como el pH, la temperatura, la turbidez, etcétera; químicos como las concentraciones de nitrógeno, fosfato, nitrato, nitritos, amonio; y también se hacen conteos microbiológicos de fitoplancton [3].

La frecuencia del monitoreo del Lago de Atitlán es de un mes. Todos estos datos, se los llevan al laboratorio para poder sacar conclusiones. Ya que para detectar cianobacteria no se pueden utilizar solos los parámetros físicos o químicos, se debe hacer conteos con microscopio ya que hay diferentes especies de cianobacterias y con solo detectar presencia, no significa que haya un florecimiento [3].

Alrededor del mundo, lagos, ríos y aguas costeras están siendo amenazadas por una llegada excesiva de ciertos nutrientes, como los nitratos o los fosfatos, y todos estos proceden de aguas residuales o de algunos fertilizantes. Las consecuencias, como lo vemos en el lago de Atitlán y el lago de Amatitlán, son en particular, la aparición de las cianobacterias (algas verdiazules), que crecen de forma descontrolada y que llegan a liberar sustancias tóxicas.

Estos microorganismos fotosintéticos aparecen de forma masiva generando afloramientos o “blooms” tras el aumento excesivo de nutrientes disueltos en el agua y también generan el incremento de la temperatura del agua. Estos “blooms” generan una multitud de efectos adversos graves sobre la calidad del agua, tales como los malos olores, la pérdida de biodiversidad, la toxicidad, espumas, hipoxia, etcétera. Por lo que su predicción se hace indispensable para suavizar las posibles consecuencias.

Las estrategias convencionales de vigilancia siempre se han basado en varios sistemas sensoriales que actúan de manera independiente una de la otra, lo cual hace más lenta y difícil la comparación y la evaluación de los datos. También, requieren altos costos en personal y largos tiempos de espera hasta obtener los resultados finales.

En este sentido, el despliegue de sensores semipermanentes en la zona de interés es una prometedora alternativa para generar una alerta de posible aparición de cianobacterias.

4.1. Objetivo general

- Desarrollar una plataforma tipo boya a bajo costo, que permita, por medio de sensores, encontrar diferentes puntos específicos en donde la cianobacteria esté más propensa a producir una proliferación.

4.2. Objetivos específicos

- Integrar un sistema de sensores, que permita el monitoreo constante de ciertas áreas de un cuerpo de agua.
- Implementar un módulo que envíe los datos captados por los sensores hacia una base de recepción.
- Diseñar y crear una plataforma que sea estable y confiable, que pueda contener todos los módulos que ayudarán a una mejor obtención de datos.
- Establecer un rango en donde los datos que se capten por medio de los sensores sean capaces de determinar la posible existencia de la cianobacteria.

Este trabajo buscar llevar a cabo un prototipo de una boya que integre 5 sensores, los cuales son: sensor analógico de pH, sensor analógico de turbidez del agua, sensor de temperatura, sensor analógico de oxígeno disuelto y un anemómetro (sensor de velocidad del viento).

Es importante recalcar que este proyecto detectará áreas vulnerables a que se proliferen las cianobacterias, ya que para asegurar que se vaya a dar un florecimiento de cianobacteria, deben darse ciertas condiciones ambientales y químicas.

Debe de haber una determinada concentración de nutrientes en el agua (fósforo y nitrógeno), una temperatura propicia para el crecimiento de la cianobacteria, cierta composición de fitoplancton en el agua y no debe haber mucho viento. En resumen, deben darse ciertas condiciones muy específicas para que se den los florecimientos.

Este es un proyecto que se restringió por el tema económico, ya que, como se planea, en algún futuro o en una siguiente fase, realizar múltiples boyas, se necesita hacer una boya de bajo costo, que sea funcional y así multiplicarlas.

La boya tendrá un módulo GPS, la cual brindará la longitud y la latitud de la boya en tiempo actual. Toda esta información de los sensores serán enviados por el módulo GSM, a través de mensajes de texto.

6.1. La calidad del agua

La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, la relación entre esta calidad del agua y las necesidades del usuario. El análisis de cualquier agua revela la presencia de gases, elementos minerales, elementos orgánicos en solución o suspensión y microorganismos patógenos [4].

Es de vital importancia, tanto para la salud humana como para el bienestar de la sociedad, contar con un abastecimiento seguro y conveniente, de satisfacción para el consumo humano, y la higiene personal debe limitarse a las normas adecuadas en cuanto la disponibilidad, cantidad, calidad y confiabilidad del abastecimiento [4].

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico [5].

A nivel global, el principal problema relacionado con la calidad del agua lo constituye la eutrofización, que es el resultado de un aumento de los niveles de nutrientes y afecta sustancialmente a los usos del agua. Las mayores fuentes de nutrientes provienen de la escorrentía agrícola y de las aguas residuales domésticas, de efluentes industriales y emisiones a la atmósfera procedentes de la combustión de fósiles y de los incendios forestales [5].

La baja calidad del agua afecta directamente sobre la cantidad de agua de diversas maneras. El agua contaminada que no puede utilizarse para consumo, para baño, para la industria o la agricultura reduce de forma efectiva la cantidad de agua disponible en una determinada zona [5].

6.1.1. Factores que determinan la calidad del agua

- **Factores físicos:** Se identifica cuando el aspecto del agua es modificado en su aspecto físico, por lo que presenta cambios en parámetros como la temperatura, sólidos en suspensión, la turbidez o color [6].
- **Factores químicos:** Se identifica cuando existe modificación en el aspecto químico del agua, es decir que presenta variaciones en parámetros como metales pesados tóxicos para los humanos tales como arsénico, plomo, mercurio, cromo, nitratos y nitritos [6].
- **Factores biológicos-microbiológicos:** Es identificado cuando el cuerpo de agua presenta variaciones en la cantidad de organismos presentes en ella. Las bacterias son uno de los principales contaminantes del agua, los coliformes representan un indicador biológico de las descargas de materia orgánica [6].

6.1.2. Constituyentes de la calidad del agua

Oxígeno disuelto

Es la cantidad de oxígeno que se encuentra libre en el agua, este no se encuentra combinado con el hidrógeno ni con los sólidos que están dentro del agua y tiene gran importancia como indicador de calidad de agua. La fuente principal de oxígeno es el aire, el cual tiene la capacidad de difundirse por la turbulencia que se da en los cuerpos de agua, así como la actividad fotosintética en la misma [7].

Es decir, el oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua. El oxígeno libre es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas y otros organismos; por eso, desde siempre, se ha considerado como un indicador de la capacidad de un medio acuático para mantener la vida acuática [7].

La concentración de este elemento es resultado del oxígeno que entra en el sistema y el que se consume por los organismos vivos. La entrada de oxígeno puede estar provocada por muchas fuentes, pero la principal es el oxígeno absorbido de la atmósfera [8].

La medición de este parámetro determina la productividad primaria y el nivel de eutrofización del cuerpo de agua. Este no es calificado como un contaminante, sin embargo su exceso o escasez dan como resultado condiciones no favorables para el cuerpo de agua, por ellos los niveles de oxígeno que permiten poseer vida acuática se da entre los valores de 5 a 9 mg/L [8].

Al aumentar la temperatura, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Cuando el agua contiene todo el oxígeno disuelto a una temperatura dada, se dice que está 100 por cien saturada de oxígeno. El agua puede estar sobre saturada de oxígeno bajo ciertas condiciones [7].

La Tabla [1] muestra la concentración de oxígeno disuelto equivalente a un grado de saturación del 100 por cien para la temperatura anotada (y la presión barométrica normal). Solo para agua dulce [8].

Temperatura (°C)	OD (mg/l)	Temperatura (°C)	OD (mg/l)
0	14.6	16	9.9
1	14.2	17	9.7
2	13.8	18	9.6
3	13.5	19	9.3
4	13.1	20	9.1
5	12.8	21	8.9
6	12.5	22	8.7
7	12.1	23	8.6
8	11.8	24	8.4
9	11.6	25	8.3
10	11.3	26	8.1
11	11.0	27	8.0
12	10.8	28	7.8
13	10.5	29	7.7
14	10.3	30	7.6
15	10.1	31	7.5

Tabla 1: Concentraciones de oxígeno disuelto

Las causas principales de niveles bajos de oxígeno son los aumentos en la temperatura del agua, florecimiento de alga, desechos de humanos o desechos de animales [8].

Temperatura

Medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia, este indicador influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad, como el pH, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y de otras variables fisicoquímicas. Es importante conocer que el uso de la temperatura promedio para uso de referencia es de 20 °C [6].

Es uno de los parámetros más importantes de la calidad de agua. La temperatura afecta la química del agua y las funciones de los organismos acuáticos. La temperatura incluye en:

- La cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua.
- La velocidad de fotosíntesis de las algas y otras plantas acuáticas.
- La velocidad metabólica de los organismos.
- La sensibilidad de organismos a desechos tóxicos, parásitos y enfermedades.
- Épocas de reproducción, migración y estivación de organismos acuáticos.

Turbidez

La turbidez es una medida de la cantidad de partículas en suspensión en el agua. Las algas, los sedimentos en suspensión, la materia orgánica y los contaminantes pueden enturbiar el agua [9].

Las partículas en suspensión difunden la luz solar y absorben calor, lo cual puede causar un aumento en la temperatura y una reducción de la luz para la fotosíntesis de las algas. La turbidez debida a sedimentos en suspensión puede indicar una erosión natural o artificial [9].

Factores que afectan la turbidez:

- Factores naturales:
 - Algas y nutrientes excesivos
 - Sedimento suspendido de la erosión y el transporte de sedimento
 - El clima estacional, eventos de tormentas
 - Se determinará la morfología local de la corriente si los sedimentos están depositados o erosionados.
- Factores humanos:
 - La erosión debido a la eliminación de la vegetación, a los cambios en la morfología de la corriente, o a los modelos del flujo de la corriente.
 - Carga excesiva de nutrientes y crecimiento de algas

Según la Organización Mundial para la Salud, la turbidez del agua para consumo humano no debe ser más de 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU [9].

pH

El pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua. Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua [9].

La escala del pH es algorítmica con valores de 0 a 14. Un incremento de una unidad en la escala logarítmica, equivale a una disminución diez veces mayor en la concentración de iones de hidrógeno [6].

Con una disminución del pH, el agua se hace más ácida y con un aumento de pH el agua se hace más básica [6].

Los cambios en pH pueden alterar la concentración de otras sustancias en el agua modificando el nivel de toxicidad, una disminución en el pH puede aumentar la cantidad de mercurio soluble en el agua, un aumento en el pH puede causar la conversión del amoníaco no tóxico a la forma de amoníaco tóxico. Muchas reacciones químicas dentro de los organismos acuáticos son necesarias para la supervivencia y crecimiento. Los organismos requieren un margen estrecho de valores de pH [9].

La mayoría de los ambientes naturales tienen un pH entre 4 y 9. El pH del agua de mar es generalmente entre 7.5 y 8.4. En agua dulce, un pH con un valor de 6.5 a 8.5 protegerá a la mayoría de los organismos. Sin embargo, el valor del pH tolerado por diferentes organismos varía [9].

6.1.3. Índice de calidad de agua

El índice de calidad de agua, fue desarrollado por la National Sanitation Foundation de los Estados Unidos. Es un índice multiparamétrico basado en el análisis de 9 variables con mayor importancia: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, temperatura, turbidez, sólidos totales, demanda biológica de oxígeno, nitratos y fosfatos [6].

6.2. El lago de Atitlán

El lago de Atitlán, se encuentra en el departamento de Sololá, a una Latitud Norte de $14^{\circ}42'02''$ y una Longitud Oeste de $91^{\circ}11'48''$ y a una elevación de 1562msmm [10].

Este lago posee un espejo de agua de $125.7km^2$. El área de la cuenca es de $548km^2$, con una profundidad máxima de 318 metros, la temperatura promedio es de $20-21^{\circ}C$ [10].

El lago de Atitlán es el tercer destino turístico del país, después de la ciudad de Guatemala y Antigua Guatemala y se estima que genera ingresos por 200 millones de dolares al año [10].

Con el fin de con el fin de contrarrestar y detener este deterioro, así como descontaminar el ecosistema dañado, mediante el Decreto 133-96 del Congreso de la República, se establece la Ley de Creación de la Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Atitlán y su entorno - AMSCLAE - [10].

Su finalidad es ordenar el uso de los recursos y fortalecer las acciones de protección y rescate del lago, que permitan a la población vivir en un medio ambiente saludable [11].

Al analizar datos importantes, Van Tongeren, reporta que sólo en 2003 el lago podría haber recibido más de 972 toneladas de nitrógeno y 381 de fósforo (alimento para microorganismos, como las cianobacterias) contenidas en más de 101,499 toneladas de suelo agrícola erosionado. Además el lago presenta un alto contenido de heces fecales. La cianobacteria fue detectada en el lago de Atitlán, por medio de imágenes satelitales, el 30 de octubre del 2009 [11].

6.3. La cianobacteria

Las cianobacterias o cianofíceas (algas azules), son microorganismos procariontes, aeróbicos y fotoautótrofos. La fotosíntesis es su principal modo de obtención de energía. Estas, se encuentran entre los organismos más primitivos de la tierra; su origen se estima en unos 3500 millones de años [12].

Su facilidad de crecimiento favorece su aparición tanto en el suelo como en el medio acuático, preferentemente en los ambientes dulceacuícolas de aguas alcalinas o neutras con pH entre 6 y 9, y temperaturas entre 15° y 30° C. Prefieren una alta concentración de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo [12].

La creciente de eutrofización de los ambiente acuáticos puede favorecer su proliferación masiva [13].

A parte de los efectos negativos que se producen como consecuencia del crecimiento masivo de estas poblaciones, como son las alteraciones en la calidad del agua (en especial en el pH y oxígeno disuelto), y otras alteraciones indirectas por modificación de parámetros de toxicidad; actualmente se sabe que algunas especies producen potentes toxinas, capaces de originar efectos agudos y crónicos en el ser humano, en animales y vegetales [13].

El aumento de la fotosíntesis asociado a la formación de blooms puede agotar el carbono inorgánico disuelto, y hacer aumentar el pH a valores tóxicos durante el día. Este hecho puede inhibir el sistema quimiopractico por el que se rigen muchos organismos que hay en el agua. Cuando las células del bloom empiezan a morir, los microorganismos descomponedores agotan el oxígeno disuelto creando un sistema anóxico, incompatible para la viabilidad de muchos organismos que habitan en el ecosistema. Además algunos blooms acuáticos plantean otra amenaza potencial por su producción de toxinas nocivas, como la microcistina. Estos se han relacionado con la bajada de calidad del agua, la destrucción de importantes pesquerías y con problemas de salud pública [13].

6.3.1. Metodologías actuales y avanzadas en la detección e identificación de floraciones de cianobacterias y sus toxinas

La identificación de los organismos causantes de las floraciones tóxicos, es con frecuencia el mejor modo de monitorizar una zona susceptible de sufrir dichas proliferaciones. Los estudios en este campo, han estado orientados a la identificación de las especies por microscopia, apoyados con la valoración de la toxicidad mediante bioensayos [12].

6.3.2. Hábitats

Como se mencionó anteriormente, los hábitats preferidos o ideales para las cianobacterias son los ambientes lénticos (lagos y lagunas), suelos húmedos, troncos muertos y cortezas de árbol. Algunas especies son halófilas y habitan en los océanos, mientras que otras, termófilas, se encuentran en los géiseres [14].

Debido a la antigüedad de estos organismos, han podido colonizar ambientes muy dife-

rentes, son muy poco exigentes al medio. Pueden encontrarse tanto en el agua como en la tierra, pueden vivir también en zonas de altas temperaturas y bajas [14].

6.3.3. Efectos ecológicos

Las cianobacterias son uno de los grupos más grandes e importantes que se desarrollan en aguas dulces. Los efectos ecológicos que las floraciones de estas cianobacterias pueden ocasionar son:

- La reducción de la transparencia del agua, limitando el recurso de la luz y pudiendo afectar a algunas especies, especialmente a las poblaciones bentónicas.
- El aumento del pH, que dependiendo del valor alcanzado pueden aparecer efectos tóxicos sobre las poblaciones de los peces.
- La reducción de CO₂, con la consecuente alteración en las interacciones competitivas del fitoplancton.
- La generación de la toxina, que puede causar efectos neurológicos en los organismos acuáticos, incluyendo a los vertebrados.
- El aumento de la población de otras algas de agua dulce.
- La reducción del oxígeno disuelto.
- El aumento en las concentraciones de amoníaco.
- Otros efectos como la restricción en el abastecimiento de agua potable a la población durante las floraciones, el aumento del coste en el tratamiento de las aguas, etcétera.

6.4. Actualidad de la cianobacteria en el lago de Atitlán

Desde el 2013 se realiza un monitoreo sistemático de las condiciones física, químicas y biológicas del lago de Atitlán. En el monitoreo limnológico se realizan varias mediciones fisicoquímicas y biológicas en cinco sitios de muestreo, con el fin de alcanzar una mejor comprensión del comportamiento del lago a lo largo de la columna de agua y a través del tiempo [15].

El monitoreo de la calidad del agua del lago de Atitlán se realiza en la segunda semana de cada mes en cinco estaciones de muestreo (WG. WA. WD. WP y SA). Los muestreos se realizan todos los meses del año y en coordinación con el personal del Centro de Estudios Atitlán de la Universidad del Valle de Guatemala (CEA-UVG) [15].

Con los resultados se ha evidenciado que el ingreso de nutrientes provenientes de distintas fuentes y las variaciones climáticas, han deteriorado la calidad del agua. Esto se ha visto reflejado en la reducción de las concentraciones de oxígeno en el fondo del lago, florecimiento de algas más frecuentes, reducción de la transparencia y presencia de coliformes y E. coli en todo el lago, sobre todo en zonas cercanas a centros urbanos [15].

Las mediciones de los parámetros físicos (oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, temperatura, conductividad, turbidez, potencial de hidrógeno, ficocianinas y clorofila a) durante el 2019 se realizaron con la sonda multiparamétrica R. En cada estación se mide transparencia con el disco Secchi y se recolectan muestras de agua con la botella tipo Van Dorn a distintas profundidades (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 250 metros y la profundidad máxima) [15].

Para los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Disueltos Totales (TDS), Turbidez (FAU), E. coli y Coliformes Totales las muestras de agua se tomaron en las profundidades de 0, 5, 10, 15, 20 y 30 metros de profundidad [15].

6.5. Flotabilidad

La flotabilidad es la tendencia de un fluido para ejercer una fuerza de apoyo sobre un cuerpo colocado en él [16]. La estabilidad se refiere a la capacidad de un cuerpo de regresar a su posición original después de haber sido inclinado con respecto a un eje horizontal [17].

Un cuerpo que se encuentre en un fluido, ya sea flotando o sumergido, es empujado hacia arriba por una fuerza igual al peso del fluido desplazado [16]. La fuerza boyante actúa verticalmente hacia arriba a través del centroide del volumen desplazado y se le puede definir de manera matemática mediante el principio de Arquímedes según se muestra en la ecuación (1):

$$F_b = \gamma_f * V_d \quad (1)$$

en donde F_b = fuerza boyante; γ_f = peso específico del fluido; y V_d = volumen desplazado del fluido.

Cuando un cuerpo flota libremente, desplaza un volumen suficiente de fluido para equilibrar justo su propio peso. El análisis de problemas que tratan sobre flotabilidad requiere la aplicación de la ecuación de equilibrio estático en la dirección vertical $\Sigma F_v = 0$, suponiendo que el objeto está en reposo en el fluido [17].

6.5.1. Procedimiento para resolver problemas de flotabilidad

Se recomienda el siguiente procedimiento para resolver todos los problemas, ya sea que impliquen cuerpos flotantes o sumergidos.

1. Determine el objetivo de la solución del problema. ¿Tiene que encontrar una fuerza, un peso, un volumen o un peso específico?
2. Dibuje un diagrama de cuerpo libre del objeto que se encuentra en el fluido. Muestre todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo en la dirección vertical, incluyendo su peso, la fuerza boyante y las fuerzas externas. Si la dirección de alguna fuerza no se conoce, suponga la dirección más probable y muéstrela en el diagrama.

3. Escriba la ecuación del equilibrio estático en la dirección vertical, tomando la dirección positiva hacia arriba.
4. Resuelva la ecuación para la fuerza, peso, volumen o peso específico deseados, tomando en consideración los siguientes conceptos:
 - a) La fuerza boyante se calcula con la ecuación $F_b = \gamma_f * V_d$.
 - b) El peso de un objeto sólido es el producto de su volumen total por su peso específico; es decir $w = \gamma V$.
 - c) Un objeto con un peso específico promedio menor que el fluido tenderá a flotar, debido a que $w < F_b$ con el objeto sumergido.
 - d) Un objeto con un peso específico promedio mayor que el del fluido tenderá a hundirse, debido a que $w > F_b$ con el objeto sumergido.
 - e) La flotabilidad neutral se presenta cuando un cuerpo permanece en una posición dada en dondequiera que esté sumergido en el fluido. Un objeto cuyo peso específico promedio sea igual al del fluido será neutralmente flotante.

6.6. Arduino MEGA 2560

El arduino MEGA 2560 es un microcontrolador basado en ATmega2560. Tiene 54 pines digitales I/O, 16 entradas analógicas 4 UARTs, un cristal oscilador de 16MHz [18].

6.6.1. Características técnicas del arduino MEGA

- Voltaje operativo: 5V
- Voltaje de entrada: 7-12V
- Pines digitales de entrada y salida: 54, de los cuales 15 proveen salida PWM
- Pines análogos de entrada: 16
- Corriente DC por cada pin de entrada y salida: 40mA
- Corriente DC entregada en el pin 3.3V: 50mA

6.6.2. Ventajas de utilizar arduino

- Bajo costo.
- Fácil de utilizar.
- Plataforma abierta, es decir, es de código abierto, por lo que se pueden construir una gran cantidad de proyectos y posibilidades de desarrollo.
- Alta flexibilidad, se pueden trabajar en casi todas las plataformas informáticas.

6.6.3. Comunicación serial

Todas las placas de arduino disponen de al menos un puerto serie, que permite la comunicación con un ordenador o con otros dispositivos haciendo uso de esta interfaz. Los pines que se usan para la comunicación por puerto serie vienen marcados en la placa con las siglas RX y TX, que corresponden al pin por el que se enviarán los datos, y al pin por el que se recibirán los datos respectivamente [18]. El arduino mega dispone de tres puertos adicionales Serial1, con los pines 19 (RX) y 18 (TX), Serial2, con los pines 17 (RX) y 16 (TX), Serial3, con los pines 15 (RX) y 14 (TX) [18]. Para un correcto funcionamiento, se debe conectar el pin de recepción de la placa (RX) al pin de transmisión del dispositivo externo, y el pin de transmisión de la placa (TX) al pin de recepción de dicho dispositivo [18].

6.7. Módulo GSM SIM800L

Es un módulo QUAD BAND GSM / GPRS compatible con arduino. Las ventajas de estos módulos son los niveles de serie VCC y TTL que tienen un voltaje de 5V, por lo que puede conectarlo directamente a arduino [19].

Al ser cuatribanda funciona en cualquier país gracias a la red GSM global. No funciona con redes 3G. Tiene dimensiones de 25x23x21 mmy un peso de 4.7 gramos [19].

La placa cuenta con un tamaño compacto y bajo consumo de corriente. Con la técnica de ahorro de energía, el consumo de corriente es tan baja como 1mA en modo reposo [19].

Funciona mediante comandos AT a través del puerto serial TTL, lo que lo hace compatible con la mayoría de los microcontroladores. Su consumo de corriente puede llegar a los 2A, por lo que se debe asegurar que la fuente de poder sea capaz de proveerlos [19].

Es importante mencionar no es posible utilizar directamente las salidas de 3.3 voltios y 5 voltios de arduino; ya que, 5 voltios es demasiado para el módulo y 3.3 voltios esta por debajo del rango permitido. Para que el módulo tenga éxito, una alimentación casi impecable es necesaria [19]. En la Figura 4 se muestran los pines con los que cuenta el módulo SIM800L.



Figura 4: Pines del módulo GSM [19]

Características del módulo GSM SIM800L

- Voltaje de operación: 3.4V a 4.4V DC
- Nivel lógico de 3V a 5V
- Consumo de corriente (Sleep): 0.7mA
- Interfaz: Serial UART
- Permite realizar o recibir llamadas de voz
- Permite el envío y recepción de mensajes SMS
- Comunicación de datos GPRS
- Receptor FM
- Control mediante de comandos AT
- Velocidades de transmisión serial de 1200bps hasta 115200 bps

6.8. Módulo NEO6M GPS

El módulo GPS para arduino y microcontroladores, basado en el receptor de la marca Ublox modelo NEO 6M, el módulo incluye su antena cerámica para colocarse directamente sobre el PCB, por lo que está listo para operar sin requerir más accesorios [20].

El GPS para arduino puede funcionar con un voltaje de alimentación en el rango de 3.0 a 5.0 voltios, mientras que las señales que entran y salen son de 3.3 voltios, por lo que se requiere un convertidor de niveles si un arduino de 5 voltios va a comunicarse hacia el módulo GPS [20].

Si solamente se desean recibir los datos NMEA basta con conectar el pin TX con el RX del arduino y recibir los datos que envía el módulo, en este caso, no hace falta conversión de niveles porque el arduino reconoce los 3.3 voltios como nivel alto [20]. En la Figura 5 se visualiza el módulo y sus pines.



Figura 5: Pines del módulo NEO6M GPS [20]

Características del Módulo NEO6M GPS:

- Comunicación serial
- Voltaje de alimentación de 3.5 a 5 VDC
- Tamaño de antena de 22x22mm
- Tamaño de módulo 23x30mm
- EEPROM para guardar configuración de parámetros
- Máxima velocidad 515m/s
- Exactitud: 1 microsegundo

6.9. Módulo A6 GSM GPRS

Es un nuevo módulo de comunicación GSM y GPRS, a diferencia de los módulos tradicionales, este módulo permite que sus funciones dependan de GSM en lugar de Wi-Fi [21].

Puede hacer una llamada y enviar mensajes de texto con un GSM pequeño y portátil. [21].

6.9.1. Características

- Fuente de alimentación de 5V, no requiere fuente de alimentación externa.
- Nivel de serie 2.8V, compatible con arduino, raspberry y otros microcontroladores.
- Interfaz fácil de usar.
- Tamaño pequeño, adecuado para diversas aplicaciones.
- Interfaz de auriculares a bordo, soporte para hacer una llamada telefónica.

6.9.2. Especificación

- Voltaje de funcionamiento: 5V
- Corriente en espera: < 3mA
- Temperatura de trabajo: -30 °C + 80 °C
- Admite la comunicación de datos GPRS, la velocidad máxima de transmisión de datos: descarga 85.6 Kbps, carga 42.8 Kbps
- Dimensión: 45x37 mm
- Peso: 34 gramos

6.10. Comandos AT

Los comandos AT fueron desarrollados en 1981 por Dennis Hayes, consistían en una serie de comandos de texto para establecer parámetros de configuración y parámetros de conexión y al ser comandos fáciles de memorizar, se implementaron en varios sistemas de comunicación [22].

Aunque la finalidad de los comandos AT es la comunicación con modems, la telefonía GSM también ha adoptado como estándar este lenguaje para poder comunicarse con sus terminales, de esta forma, todos los teléfonos móviles GSM poseen un juego de comandos AT específico que sirve de interfaz para configurar y proporcionar instrucciones a los terminales, también permiten acciones tales como realizar llamadas de voz, leer y escribir en la agenda de contactos, leer y enviar mensajes SMS y muchas otras opciones de configuración de terminal [22].

A continuación, la Tabla 2 muestra algunos de los comandos AT+ más frecuentes:

Comandos AT	Descripción
AT	Se comprueba la disponibilidad del dispositivo.
AT+CGMI=?	Se solicita información sobre el fabricante
AT+CGSN	Se solicita el IMEI
AT+CMGF=1	Se establece el formato de SMS

Tabla 2: Tabla de comandos más frecuentes

6.11. Sensor de oxígeno disuelto

Consiste en dos electrodos: un ánodo y un cátodo. Ambos electrodos están sumergidos en electrolitos (dentro del cuerpo del sensor), una membrana permeable al oxígeno separa el ánodo y el cátodo del agua medida [23].

La membrana permeable permite que el oxígeno del agua de muestra se difunda en el sensor, donde se reduce en el cátodo. Esta reacción química produce una señal eléctrica, que viaja desde el cátodo al ánodo y luego el instrumento de medición de oxígeno disuelto. El consumo de oxígeno en el cátodo crea una diferencia de presión a través de la membrana que varía según la presión parcial de oxígeno disuelto en la muestra [23].

Por lo tanto, a medida que aumenta la concentración de oxígeno, la presión parcial y la velocidad de difusión también aumenta y la corriente al instrumento aumenta proporcionalmente [23].

Las especificaciones del sensor son las siguientes: el rango de detección es de 0 a 20mg/L, el rango de temperatura de 0°C a 40°C, el rango de presión de 0 a 50 PSI, el voltaje de suministro es de 3.3 a 5.5V, la señal de salida es de 0 a 3.0V y tiene una vida útil del electrodo de 1 año con uso normal [23].

La junta contiene 4 módulos, los cuales son: la salida de señal analógica (0 - 3.0V), el voltaje de corriente directa (3.3 - 5.5V), la tierra y el conector de cable de la sonda (conector BNC) [23]. Esta conexión se puede observar en la Figura 6:

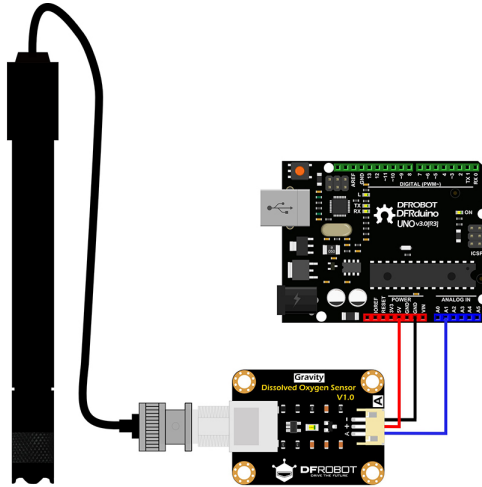


Figura 6: Sensor de oxígeno disuelto [23]

6.12. Sensor de temperatura DS18B20

Es una sonda o sensor termo digital, su interfaz única 1-wire facilita la comunicación con los dispositivos. Puede convertir una señal digital de temperatura de 12-bit en 750 milisegundos. Además, puede medir temperaturas de -55°C a 125°C [24].

Este sensor no requiere un fuente de alimentación externa ya que extrae energía de la línea de datos. Y lo más importante, su cabezal de sonda de acero inoxidable lo hace adecuado para cualquier ambiente húmedo. Tiene un rango de fuente de alimentación de 3.0V a 5.5V [24]. El diagrama de este sensor se muestra en la Figura 7:



Figura 7: Sensor de temperatura [24]

Pines del sensor de temperatura DS18B20:

- VDD: Es la tensión de alimentación, es decir, que el voltaje necesita para que el sensor de temperatura funcione correctamente. Se puede alimentar desde 3 voltios a 5.5 voltios.
- GND: Es la toma de tierra.
- DQ: Es el pin de datos. Por este pin es por donde se recibirán todos los datos en el protocolo 1-Wire.

6.13. Sensor de turbidez

El sensor de turbidez de arduino detecta la calidad del agua al medir el nivel de turbidez. Es capaz de detectar partículas suspendidas en el agua mediante la medición de la transmisión de luz y la velocidad de dispersión que cambia con la cantidad de sólidos suspendidos totales en el agua, a medida que aumenta, aumenta el nivel de turbidez del líquido [25].

Este sensor de turbidez tiene ambos modos de salida de señal analógica y digital, Su voltaje de funcionamiento es de 5V y su corriente de funcionamiento de 40mA. Su salida analógica es de 0v a 4.5v [25].

El sensor de turbidez, Figura 8, contiene un transmisor y receptor de luz. En aguas claras, la dispersión de la luz es mínima y, por lo tanto, el receptor de luz recibe la mayor cantidad de luz. A medida que aumenta la turbidez del agua, el receptor de luz recibe cada vez menos luz. El sensor se dispara cuando la luz recibida está por debajo de cierto umbral [25].



Figura 8: Sensor de turbidez [25]

Características y especificaciones:

- Voltaje de funcionamiento: 5 VCC
- Corriente de funcionamiento: 40mA
- Tiempo de respuesta: < 500mS
- Resistencia de aislamiento: 100M
- Método de salida: analógico
- Salida analógica: 0 - 4.5V
- Salida digital: señal de nivel alto / bajo
- Temperatura de funcionamiento: 5°C 90°C
- Temperatura de almacenamiento: -10°C 90°C
- Peso: 30 gramos

6.14. Sensor analógico de pH

El pH es un valor que mide la acidez o la alcalinidad de una solución. Es una escala de la actividad del ion de hidrógeno en la solución. Por lo general, el pH es un número entre 0 y 14, en las condiciones estándares el pH igual a 7 significa que la solución es neutra, cuando el pH es menor a 7, la solución es ácido y cuando es mayor a 7, se dice que la solución es alcalina [26].

El medidor de pH analógico está diseñado especialmente para los controladores de arduino y se ha incorporado de una manera fácil en la conexión y características de esta tarjeta. Cuenta con un led que funciona como indicador de encendido, un conector BNC y una interfaz de sensor de pH. Para usarlo, basta con conectar el sensor de pH, como el de la Figura 9, con conector BNC, y conectar la interfaz pH en el puerto de entrada analógica de cualquier controlador arduino [26].

La medición del pH de una solución es un valor que refleja la acidez o la alcalinidad exacta de la solución. También se denomina índice de concentración de iones de hidrógeno. La prueba de pH es una escala de actividad de iones de hidrógeno en una solución [26].

Por lo general, el pH es un número entre 0 y 14; en condiciones termodinámicas estándar, un pH igual a 7, significa que la solución es neutral, un pH menor a 7 significa que la solución es ácida y un pH mayor a 7 significa que la solución es alcalina [26].



Figura 9: Sensor de pH [26]

Especificaciones del sensor:

- Voltaje de entrada: 5VDC
- Salida analógica
- Rango de medición: pH0 - pH14
- Temperatura de trabajo: 0°C - 60°C
- Precisión: $\pm 0.1\text{pH}$
- Tiempo de respuesta $< 1 \text{ min}$
- Tamaño de la placa de circuito: 43 x 32 mm

6.15. Sensor de la velocidad del viento (anemómetro)

El anemómetro de rotación está dotado de hélices unidas a un eje central cuyo giro, proporcional a la velocidad del viento, es registrado convenientemente. Cada vez que el anemómetro hace una rotación completa, se mide la velocidad del viento en base al número de revoluciones por minuto (RPM). El número de revoluciones se registra en función del tiempo y se determina un promedio [27].

Este es un sensor de velocidad del viento con diseño a prueba de lluvia. Adopta tres tazones de media esfera con un diámetro de 6 centímetros, presentando una instalación de bifurcación de 120 grados. Bajo el efecto de la energía eólica, puede girar [28]. Este tipo de sensor se muestra en la Figura [10].

Mayor velocidad del viento, más rápido gira. Cuando el componente de giro del viento gira con un diámetro de aproximadamente 20 centímetros, obligará a un motor CC a generar voltaje. Una mayor velocidad del viento, generará un mayor voltaje CC. Su voltaje máximo generado puede alcanzar 1.2V y tiene una tolerancia de aproximadamente 10%. [28].

Especificaciones del sensor:

- Adopta tres cuencas de media esfera con 6 centímetros de diámetro
- Instalación de rama de 120 grados
- El voltaje máximo generado puede alcanzar 1.2 voltios.



Figura 10: Sensor de velocidad [28]

6.16. Estatus limnológico del lago de Atitlán

6.16.1. Transparencia

La transparencia del agua es la capacidad de penetración de la radiación solar en un cuerpo de agua, profundidad que está determinada por la cantidad de materia, tanto suspendida como disuelta, presente en el agua [15].

La medida de la transparencia de la columna de agua es importante para identificar las zonas óptimas para el desarrollo de la actividad fotosintética y por tanto de la vida acuática. La transparencia del lago de Atitlán durante el año 2019 osciló entre los 3 y 10 metros de profundidad [15].

El sitio WP, ubicado frente a Panajachel, fue en donde se registraron los valores más bajos de transparencia, esto se podría deber al ingreso de sedimentos y materia orgánica de los dos principales ríos que descargan en el lago, río San Francisco y Quiscab [15].

Los cambios de transparencia de todo el lago en los últimos años podría deberse al alto ingreso de sedimentos, producto de las actividades antropogénicas y al aumento de la densidad y productividad de las algas en la columna del agua, ya que, estos sedimentos suspendidos en la columna de agua reducen la cantidad de luz que penetra y por consiguiente la transparencia [15].

6.16.2. Temperatura

La temperatura en el lago permite comprender la estratificación térmica de la columna de agua, la cual se refiere al fenómeno cuando las aguas de la superficie se calientan y forman una capa que flota encima de las aguas más profundas y frías. Cuando la temperatura se iguala en ambas zonas desaparece con ella la estratificación, este fenómeno puede ser ocasionado por los vientos que enfrían la capa superficial [15].

Durante los meses de frío (noviembre - febrero) se observa una reducción de la temperatura superficial, en comparación de los meses calurosos. La temperatura del epilimnion (capa superficial) (0 - 30 metros) en todos los sitios de muestreo oscila entre los 22 a 24°C. Entre los 35 y 40 metros de profundidad se observa la termoclina y por debajo de esa profundidad el hipolimnion, con una temperatura por debajo de los 21°C (capa profunda) [15].

La baja variación de la temperatura en aguas superficiales y profundas podría indicar que el calor logra distribuirse hacia las capas más profundas del lago. Es probable que la acción del viento y otras fuerzas generadoras de turbulencia distribuyan el calor de la superficie a las capas profundas durante el día y la noche [15].

6.16.3. Oxígeno disuelto

Después de la temperatura, el oxígeno disuelto es uno de los factores más importantes que debe ser medido en el agua. En la siguiente imagen se observa la variación espacial y temporal de los valores del oxígeno disuelto desde el 2013 al 2019. Los tonos morados y azules indican altas concentraciones de oxígeno en el agua y los tonos rojos y anaranjados indican concentraciones bajas [15]. Estas variaciones se muestran en la Figura 11.

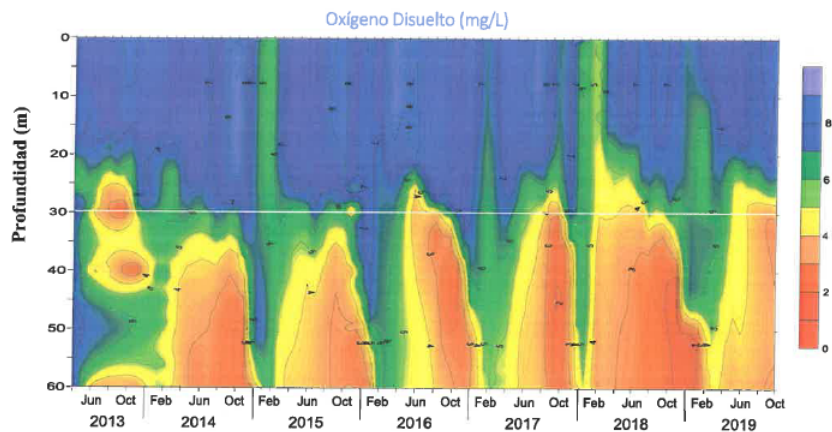


Figura 11: Variación espacial y temporal del oxígeno disuelto desde abril del 2014 a octubre del 2019 [15]

Por lo tanto, la interpretación de la variación espacial y temporal de oxígeno disuelto muestra patrones de altas concentraciones de oxígeno en la superficie y bajas concentraciones en las capas profundas [15].

Al igual que la temperatura, existe una estratificación del oxígeno disuelto en los primeros 30 metros de profundidad. Durante el 2019 el oxígeno disuelto en la superficie osciló entre los 7 a 4 mg/L y por debajo de los 30 metros de profundidad el oxígeno disminuyó a 3 o 2 mg/L, incluso a 0.02 mg/L en algunos sitios a profundidades mayores a 200 [15].

La capa superficial puede presentar concentraciones mayores de oxígeno debido a la acción del viento y otras fuerzas generadoras de turbulencia; así como por los procesos de fotosíntesis del fitoplancton y de las macrófitas, que se encuentran restringidas al epilimnion [15].

En todos los sitios de muestreo se registraron descensos de las concentraciones de oxígeno después de los 40 metros de profundidad, esto se debe a que las capas profundas no están en contacto directo con la atmósfera, por lo tanto, no hay un intercambio directo de oxígeno. Además, en las capas profundas hay un mayor consumo del oxígeno disuelto por las bacterias, debido a la degradación de la materia orgánica que ingresa al lago por la acción del viento o por las descargas de aguas residuales y los afluentes [15].

6.16.4. Turbiedad

Las cuenca hidrográfica del lago de Atitlán es un territorio drenado por un única sistema de drenaje natural, cuyas aguas fluyen todas hacia el lago. En 2015 se realizó la medición de la turbiedad en las 5 cuencas del lago de Atitlán, llamadas Tzununá, San Francisco, El Tzalá, Barreneché, Agua Tibia, Cojolyá y La Catarata [29].

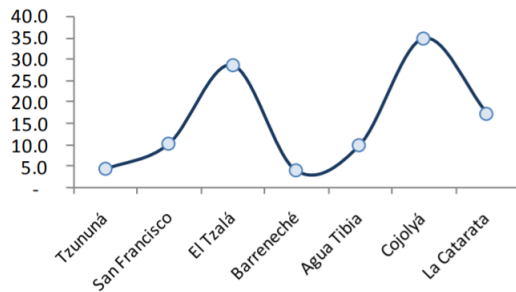


Figura 12: Turbiedad del lago de Atitlán [29]

Los ríos Cojolyá y El Tzalá promediaron en las muestras la mayor turbidez con valores de 28.7 mg/L (86.1) y 34.9mg/L (104.7 NTU) respectivamente. y los ríos Tzununá y Barreneché promediaron en las muestras la menor turbidez con valores menores a 5mg/L (15 NTU) [29].

6.16.5. Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno, pH, es el término que nos indica la concentración de iones hidrógeno y la acidez de una solución. El agua pura tiene un pH de 7, aguas con valores por arriba de siete son aguas alcalinas y por debajo son aguas ácidas [15]. En el centro del lago de Atitlán se obtuvieron las mediciones de la Figura 13

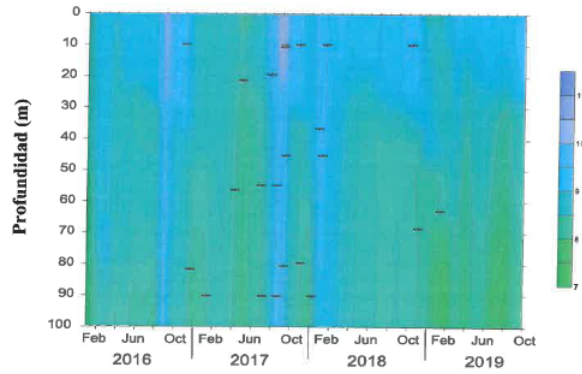


Figura 13: Variación espacial y temporal de pH en el sitio de muestreo WG [15]

En la Figura anterior, se puede observar la variación espacial y temporal de los valores de pH desde el 2016 a la fecha. En general, el pH osciló entre 7 y 10 unidades, tanto en el centro del lago de Atitlán como en el resto de los sitios de muestreo. En algunos casos los valores fueron más alcalinos en la superficie y esto podría estar asociado a eventos de florecimiento de alguno de los cinco grupos de fitoplancton que hay en el lago. Las diferencias de pH a lo largo de la columna de agua se deben a la actividad biológica (fotosíntesis y respiración) de las microfítas, algas o bacterias [15].

El pH del agua disminuye cuando el dióxido de carbono atmosférico se une con la capa superficial de agua forma una molécula ácida. No obstante, los organismos fotosintéticos durante el proceso de fotosíntesis, absorben el CO₂ disuelto, disminuyendo así las concentraciones de CO₂ en el lago y provocando un aumento del pH [15].

6.16.6. Velocidad del viento

La velocidad del viento es una cantidad atmosférica fundamental causada por el movimiento del aire de alta a baja presión, generalmente causado por los cambios de temperatura [30]p.

La velocidad del viento en el lago de Atitlán en el año 2013 mostró variaciones mensuales, los vientos más fuertes se registraron en enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre, alcanzando los 9.4 Km/h en enero; el mes de septiembre presentó las menores velocidades promedio durante el año con 1.93 Km/h [30]. Estos datos se muestran en la siguiente Figura:

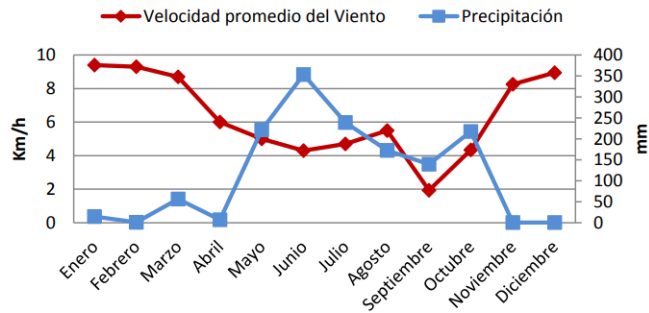


Figura 14: Variación de velocidad del viento y precipitación. Lago de Atitlán. 2013 [30]

6.16.7. Clorofila y ficocianina

La clorofila es un pigmento de color verde que se encuentra en todos aquellos organismos que contienen cloroplastos en sus células, lo que incluye a las plantas y a diversas algas. La ficocianina es un pigmento ficobilínico azul presente en algas verdeazules (cianobacterias). Por lo tanto, ambos pigmentos son indicadores de las densidades de algas en el ensamble de fitoplancton y de cianobacterias [15].

Los valores de ficocianina en la capa superficial del lago de Atitlán en los años 2018 y 2019 oscilaron entre 200 y 400 cel./L. Los valores máximos corresponden a los meses de octubre del 2018 a enero del 2019, los cuales están asociados al florecimiento que hubo en octubre del 2018 [15].

Se puede inferir que no todos los valores altos de clorofila corresponden a florecimientos de cianobacterias. Sino que pueden ser florecimientos de algas de otros grupos de fitoplancton, las cuales en algunos meses del año sus densidades en los conteos son bastante elevadas [15].

6.16.8. Fitoplancton

Durante el 2019, se registraron 22 géneros de fitoplancton, distribuidos en cinco clases. Las algas verdes fueron las más diversas con un total de siete géneros, seguidas de las diatomeas y cianobacterias con seis géneros [15]. Estos datos se representan en la Figura 15

Abundancia relativa

El incremento de cianobacterias (Cuanophyceae) puede estar asociado al aumento de nutrientes por efectos de la lluvia y al aumento de temperaturas debido a la canícula. Las algas verdes están asociadas a altas concentraciones de nutrientes y aguas más cálidas, mientras que las cianobacterias además de estas dos condiciones, se ve favorecida por un aumento de la radiación solar y por la presencia de poco viento [15].

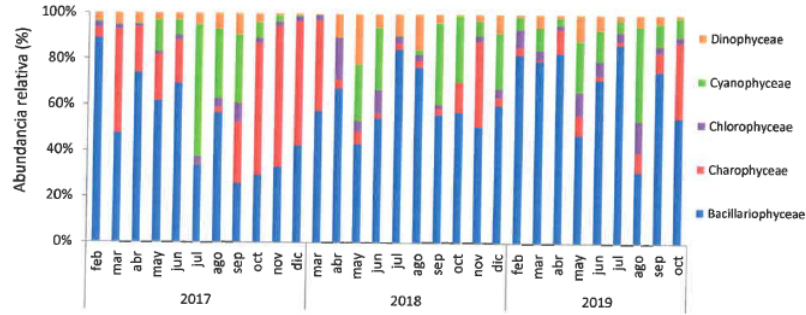


Figura 15: Dinámica del fitoplancton durante los años 2017 - 2019 [15]

Densidad de cianobacterias

En Figura [16] se puede observar el comportamiento de las cianobacterias en los últimos 4 años. Los datos corresponden a los conteos realizados mensualmente en los sitios de muestreo de Santiago Atitlán, Centro del lago de Atitlán y Panajachel, no incluye los conteos de muestreos del monitoreo de florecimiento de cianobacterias [15].

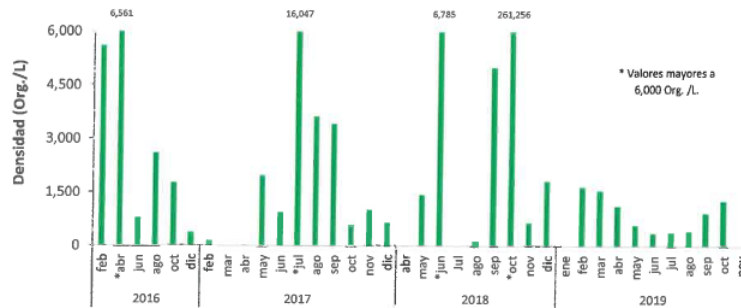


Figura 16: Densidad promedio de cianobacterias en el lago de Atitlán [15]

En 2019, las densidades promedio de cianobacterias fueron relativamente más bajas que los años anteriores [15].

Florecimientos

Existe una serie de actores que influyen en el crecimiento excesivo de las cianobacterias, que puede llegar a provocar un florecimiento, entre los que se puede mencionar: la disponibilidad de luz, capacidad de absorción de nitrógeno, distribución de las cianobacterias en la zona fótica, la temperatura del agua, la disponibilidad de nutrientes y la pérdida por transporte y depredación [15].

En la Figura 17 se muestran los eventos de florecimiento en los años 2017-2019 en el lago de Atitlán:

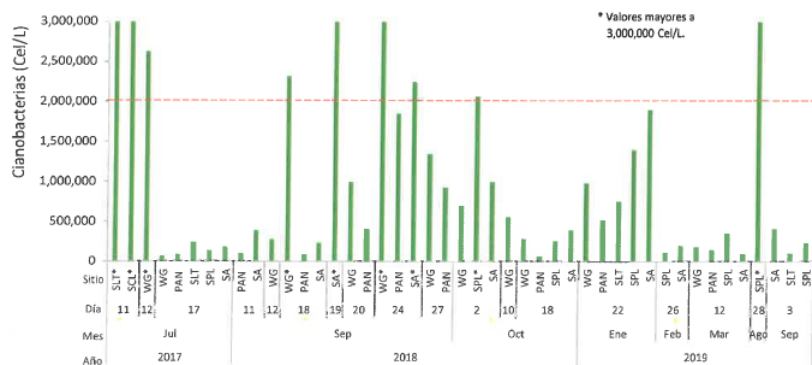


Figura 17: Eventos de florecimientos registrados en el lago de Atitlán durante el 2017 al 2019. 15

En la Figura anterior se observan los resultados de los conteos realizados durante el monitoreo de florecimiento de cianobacterias. En el 2017 hubo florecimiento en julio, en el 2018 a finales de septiembre y en el 2019, un solo evento en agosto.

Se considera que existe un florecimiento de cianobacterias cuando el número de células por litro es mayor a los dos millones. Por debajo de este valor no se declara una alerta de florecimiento, sin embargo, se mantiene activo el monitoreo, debido a las altas densidades de cianobacterias en el lago Atitlán.

Siempre es importante que se cuente con un sistema de precaución y mitigación para los florecimientos de cianobacterias, principalmente, porque uno de los riesgos más grandes asociados a estos fenómenos, es la producción de cianotoxinas. Las cianotoxinas son metabolitos secundarios que pueden llegar a ser tóxicos para animales, afectando la biota acuática y la terrestre, incluyendo seres humanos. Esto es de real importancia ya que tres municipios al sur de la cuenca utilizan agua del lago para la población, a través del sistema de abastecimiento de agua municipal.

El proyecto está dividido por sensores y módulos. El funcionamiento de los módulos son esenciales para la recopilación y envío de datos.

7.1. Funcionamiento del módulo GSM SIM800L

7.1.1. Primera prueba módulo GSM SIM800L

Para poder entender como funcionaba el módulo, se realizó una prueba en donde al escribir en el monitor serial, el módulo lo recibía y leía, y cuando el módulo recibía algún mensaje, lo escribía en el monitor serial. El código fuente utilizado en arduino se muestra a continuación:

```
if (Serial3.available()){
  Serial.write(Serial3.read());
}
// SI EL MODULO ENVIA ALGO...
if (Serial.available()){
  Serial3.write(Serial.read());
}
```

Figura 18: Código para escribir y recibir mensajes al módulo GSM SIM800L

En la siguiente imagen se muestra como se logró comunicar con el módulo. Al escribir en el monitor serial “AT”, se regresa el estado de la SIM; en este caso regresa un “OK”, lo que significa que se encuentra en buen estado. La siguiente instrucción que se escribió en el monitor fue “AT+CGMI” la cual devuelve la información del fabricante del módulo, que en este caso es “SIMCOMLtd” . Por último “AT+COPS?” comprueba la red a la que está

Como resultado de esta prueba se recibió el mensaje de la Figura 21, que se muestra en la siguiente imagen, el problema de esta prueba es que no se tiene un control en cuanto a la cantidad y el tiempo en el que se va a enviar el mensaje.

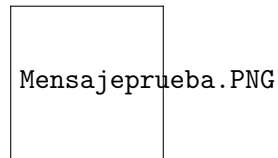


Figura 21: Primera prueba de envío de mensaje

7.1.3. Tercer prueba del módulo GSM SIM800L

Para que se tuviera un mayor control en el tiempo y cantidad de mensajes enviados, el proceso de enviado el mensaje será el siguiente: Si desea recibir un mensaje con todo lo que están leyendo los sensores se debe enviar un mensaje al módulo escribiendole la palabra "Enviar". En este caso la prueba que se realizó es para probar dos condiciones, si se envía el mensaje con alguna palabra y el módulo envía el mensaje según las condiciones del código.

```
void recibirMensaje() {
  if (Serial1.available()) {
    mensaje = Serial1.readString();
    delay(500);
  }

  if (mensaje.indexOf("Enviar") >= 0) {
    mensaje = "";
    mensajeenviado = "Se recibio enviar";
    EnviaSMS();
  }

  if (mensaje.indexOf("No") >= 0) {
    mensaje = "";
    mensajeenviado = "Se recibio no";
    EnviaSMS();
  }
}
```

Figura 22: Primera prueba de envío de mensaje

Como resultado de esta prueba, se puede notar en la Figura 23 que se envió la palabra “Enviar” y recibe un mensaje de “Se recibió enviar” y después se envió la palabra “No” y se recibe un mensaje de “Se recibió no”.

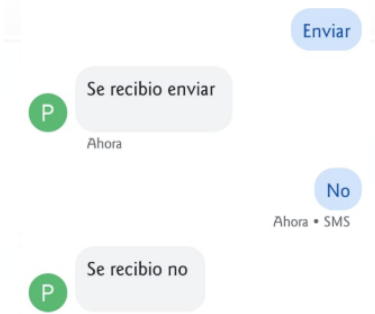


Figura 23: Primera prueba de envío de mensaje

7.2. Funcionamiento del módulo GPS6MV2

Para la programación del módulo GPS, se utilizó una librería llamada TinyGPS, que está diseñada para proporcionar la mayor parte de la funcionalidad de GPS NMEA. Como se muestra en la siguiente imagen, la librería antes mencionada ya nos otorga todos los datos que el módulo nos puede proporcionar, lo único que se tiene que hacer es que si el GPS está teniendo señal, si puede guardar los valores, si no está teniendo señal, no sigue las instrucciones.

```
while (Serial1.available()) {
    int c = Serial1.read();
    if(gps.encode(c)) {
        float latitude, longitude;
        gps.f_get_position(&latitude, &longitude);
        Serial.print("Latitud/Longitud: ");
        Serial.print(latitude,5);
        Serial.print(", ");
        Serial.println(longitude,5);
        gps.crack_datetime(&year, &month, &day, &hour, &minute, &second, &hundredths);
        Serial.print("Fecha: "); Serial.print(day, DEC); Serial.print("/");
        Serial.print(month, DEC); Serial.print("/"); Serial.print(year);
        Serial.print(" Hora: "); Serial.print(hour, DEC); Serial.print(":");
        Serial.print(minute, DEC); Serial.print(":"); Serial.print(second, DEC);
        Serial.print("."); Serial.println(hundredths, DEC);
        Serial.print("Altitud (metros): "); Serial.println(gps.f_altitude());
        Serial.print("Rumbo (grados): "); Serial.println(gps.f_course());
        Serial.print("Velocidad(kmph): "); Serial.println(gps.f_speed_kmph());
        Serial.print("Satelites: "); Serial.println(gps.satellites());
        Serial.println();
        gps.stats(&chars, &sentences, &failed_checksum);
    }
}
```

Figura 24: Código de la implementación del módulo GPS

Es importante mencionar que el módulo GPS solo se utilizará para obtener la latitud, la longitud, la hora y la fecha. Para determinar y saber si el GPS Shield funciona, simplemente se copiaron las coordenadas (longitud y latitud) en Google Maps. Y en la Figura 25 se muestra como concuerda perfectamente.



Figura 25: Prueba de las coordenadas del módulo GPS

7.3. Implementación del módulo GSM y el módulo GPS

Para lograr la implementación de estos dos módulos se necesitó de un Arduino MEGA, ya que se necesitaban por lo menos dos puertos serial. En el caso del módulo GSM, se utilizó el puerto serial 3 y para el módulo GPS, se utilizó el puerto serial 1. Los dos a una velocidad de 9600 baudios.

```
while (Serial1.available()){
  int c = Serial1.read();
  if (gps.encode(c)){
    gps.f_get_position(&latitud, &longitud);
    Serial.println(latitud);
    gps.crack_datetime(&anio, &mes, &dia, &hora, &minuto, &segundo, &centesimas);
    gps.stats(&chars, &sentences, &failed_checksum);
    if ( (boton == 1) &&(cont==0) ){
      Serial.println("Boton presionado");
      Serial3.println("AT+CMGF=1\r\n");
      delay(1000);
      Serial3.println("AT+CMGS=\"+50230078570\"\r\n");
      delay(1000);
      Serial3.print("Temperatura: "+String(s1)+"", pH:"+String(s2)+"", viento:"+ String(s3)+"", turb:
      delay(1000);
      Serial3.print((char)26);
      cont = 1;
      delay(1000);
      Serial.println("Mensaje enviado"); |
```

Figura 26: Código de la implementación del módulo GPS y el módulo GSM

Como se muestra en la Figura 26, nada se puede hacer si el módulo GPS no tiene señal. Por otro lado, si tiene señal, entonces se guarda en variables, la latitud, la longitud, la hora y la fecha. Después, podemos presionar el botón; si el botón es presionado, entonces envía el mensaje del mismo modo, con comandos AT y concatenando todas las variables que tenemos.

Sensor analógico de oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros importantes para reflejar la calidad del agua. El bajo nivel de oxígeno disuelto en el agua conlleva dificultades de salud para los organismos acuáticos. Este sensor, para lograr su correcto funcionamiento, necesita una solución de relleno de 0.5mol/L de hidróxido de Sodio (NaOH).

8.1. Preparación y calibración de la sonda del sensor

8.1.1. Preparación de la sonda

Para una nueva sonda de oxígeno disuelto, primero se debe agregar una solución de NaOH de 0.5mol/L a la tapa de la membrana como solución de llenado. Si la sonda se ha utilizado durante algún tiempo y el error aumenta considerablemente, es hora de cambiar la solución de llenado.

Se debe desenroscar la tapa de la membrana de la sonda y se llena aproximadamente 2/3 del volumen de la tapa con la solución de llenado. Se tiene que asegurar de que la sonda esté en posición vertical con respecto al plano horizontal. Es recomendable que una pequeña parte de la solución se desborde de la tapa para asegurar que la sonda esté completamente llena con solución de NaOH.

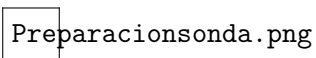


Figura 27: Sensor de oxígeno disuelto

8.1.2. Calibración de la sonda

Si es la primera vez que se utiliza la sonda o si la sonda no se ha utilizado durante algún tiempo, la sonda debe calibrarse para mayor precisión. Los métodos más comunes de calibración más comunes son: calibración de punto único y calibración de doble punto. En este caso, se utilizará la calibración de punto único que es lo suficientemente buena y confiable.

Al tener el programa de calibración cargado al microcontrolador Arduino, y la sonda conectada, se sumerge la sonda en el agua saturada de oxígeno disuelto y se agita suavemente en el agua. Luego se verifican las lecturas de oxígeno disuelto y se espera a que las lecturas sean estables.

Si no se cuenta con agua saturada de oxígeno disuelto, el aire es un buen reemplazo (se debe sumergir la sonda en el agua y agitarla varias veces para humedecer la membrana permeable de la tapa y luego se expone la sonda al aire durante más de 5 minutos).

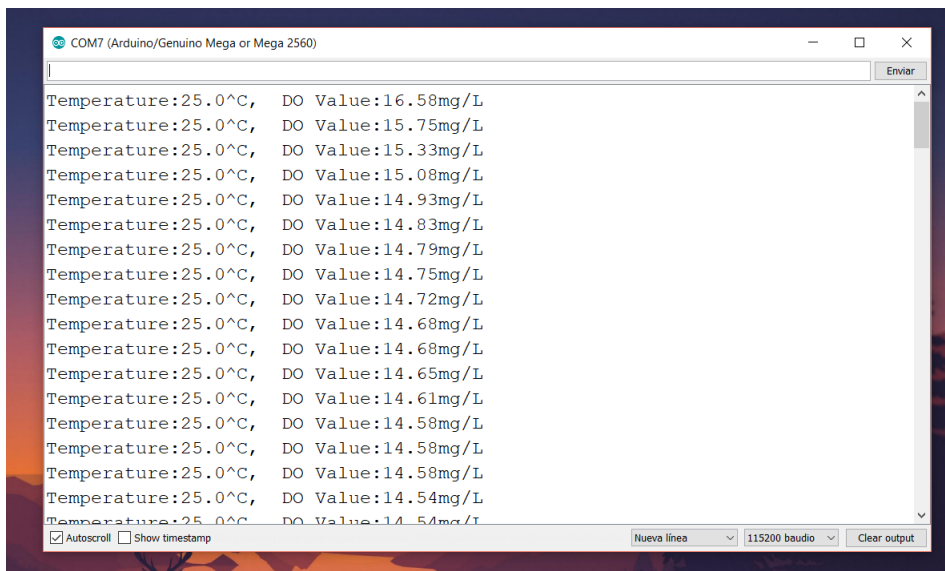


Figura 28: Lectura del sensor antes de la calibración

Al ingresar la palabra CALIBRATION en el monitor serial, se ingresa al modo de calibración. Luego se ingresa la palabra SATCAL para la calibración de oxígeno disuelto. El programa imprimirá si la calibración es exitosa o no, como se muestra en la siguiente Figura:

Después del proceso antes mencionado, la calibración del oxígeno disuelto saturado se ha completado. La sonda ya está lista para la medición.

8.2. Pruebas del sensor

Para obtener el dato de la regularidad del tiempo de respuesta del sensor, se realizó la siguiente prueba: se colocó el sensor dentro de un vaso que contenía agua de grifo, al cabo de 5 minutos, se tomó el valor que desplegaba el sensor, el cual era 4.08 mg/L. Luego, teniendo

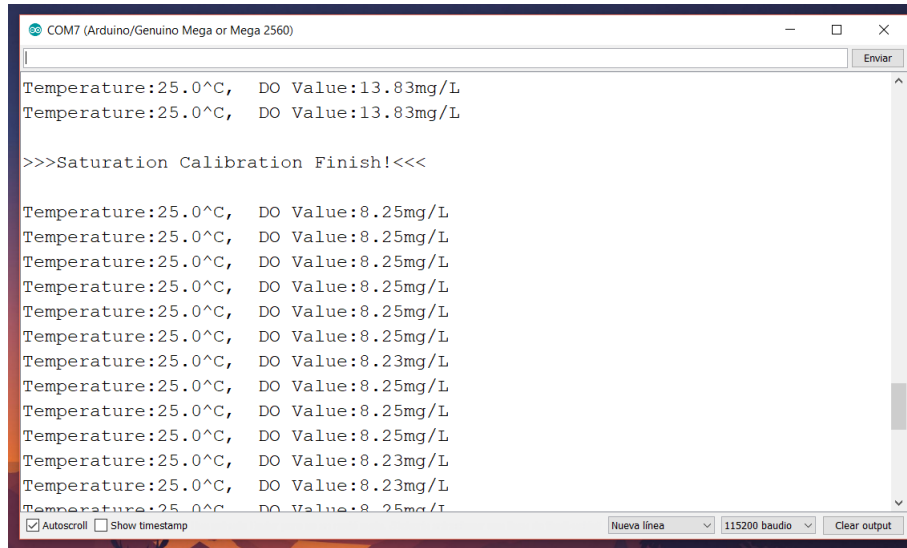


Figura 29: Lectura del sensor antes de la calibración

ese dato, se tomó el tiempo en el que el sensor se tardaba en estabilizarse en el dato que se había encontrado (4.08 mg/L), se tomaron 10 corridas para luego obtener un promedio del tiempo.

Como se muestra en la siguiente imagen, el sensor tiene un tiempo de respuesta (tiempo en el que se estabiliza) promedio de 3 minutos con 20 segundos y esto es porque la reacción electroquímica en la sonda lleva bastante tiempo.

ESTABILIDAD DE SENSOR DE OXÍGENO DISUELTO	
4.08mg/L	
Repeticiones	Tiempo (min)
1	3:26
2	3:31
3	3:45
4	3:28
5	3:12
6	2:55
7	2:57
8	3:24
9	3:40
10	3:03
PROMEDIO	3:20

Tabla 3: Tiempo de estabilización del sensor de oxígeno disuelto

Como se mencionó en el marco teórico, los niveles de oxígeno disuelto pueden variar de 0 a 18 partes por millón (equivalente a mg/L), aunque la mayoría de los cuerpos de agua requieren un mínimo de 5 a 6 mg/L para soportar una diversidad de vida acuática. Los niveles de oxígeno disuelto por debajo de 3 ppm dañan a la mayor parte de los organismos acuáticos y por debajo de 2 o de 1 ppm los peces definitivamente mueren.

El resultado que se tuvo anteriormente de 4.08 mg/L de oxígeno disuelto en el vaso de agua es realmente bajo, la razón principal es que como se encuentra en un vaso no hay movimiento de agua para que el agua absorba más oxígeno.

Tomando todo en cuenta, el sensor fue sometido a tres líquidos diferentes (agua potable, leche y agua gaseosa) para ver su comportamiento.

8.2.1. Sensor de oxígeno disuelto sumergido en agua potable

Datos tomados	Oxígeno disuelto (mg/L)	Media (mg/L)	Desviación estándar (mg/L)
1	7.60	7.61	0.07
2	7.52		
3	7.80		
4	7.63		
5	7.59		
6	7.55		
7	7.64		
8	7.61		
9	7.59		
10	7.61		

Tabla 4: Resultado del oxígeno disuelto en agua potable

En la Tabla 4 se puede notar el valor promedio que arroja el sensor de oxígeno disuelto sumergido en agua potable es de 7.61 mg/L, este valor está dentro de los rangos antes descritos, en donde hay suficiente oxígeno para la mayor parte de las especies.

8.2.2. Sensor de oxígeno disuelto sumergido en agua gaseosa

El agua gaseosa, contiene dióxido de carbono (un átomo de carbono unido con enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno) y agua, que constituye el 90 por ciento de una bebida carbonatada [31].

Es importante que el agua que se utiliza para la elaboración del agua gaseosa sea previamente filtrada y apta para el consumo humano, por lo tanto, se busca reducir la concentración de oxígeno disuelto en el agua, porque afecta a los aditivos y a los jarabes y, por lo tanto, disminuye el tiempo de vida para el consumo de la bebida [31].

Entre los principales parámetros de calidad del agua tratada utilizada para la elaboración de bebidas carbonatadas se establece el oxígeno disuelto debe tener un máximo nivel de 0.5 ppm, ya que este afecta a los aditivos y a los jarabes, disminuyendo así el tiempo de vida para el consumo de esa bebida. Otro de los factores principales por los que se disminuye en gran medida el oxígeno disuelto en las aguas carbonatadas es para reducir las reacciones

oxidativas en todos los puntos de fabricación de la bebida. [31].

Datos tomados	Oxígeno disuelto (mg/L)	Media (mg/L)	Desviación estándar (mg/L)
1	0.76	0.78	0.14
2	0.71		
3	0.71		
4	0.65		
5	0.65		
6	0.71		
7	0.76		
8	0.82		
9	0.92		
10	1.09		

Tabla 5: Resultado del oxígeno disuelto en agua gaseosa

Como se observa en la Tabla 5, el valor del oxígeno disuelto en el agua gaseosa es mayor a 0.5ppm, pero la razón principal es que la gaseosa fue abierta para poder permitir el ingreso del sensor, al cabo del tiempo, el oxígeno disuelto sube, como se muestra en la siguiente imagen, en donde se dejó abierta la gaseosa por 10 segundos y se volvieron a tomar los datos.

Datos tomados	Oxígeno disuelto (mg/L)	Media (mg/L)	Desviación estándar (mg/L)
1	1.55	1.63	0.05
2	1.60		
3	1.58		
4	1.65		
5	1.61		
6	1.62		
7	1.66		
8	1.69		
9	1.69		
10	1.67		

Tabla 6: Resultado del oxígeno disuelto en agua gaseosa después de 10 segundos

El resultado fue que, al dejar a la intemperie la gaseosa, el valor del oxígeno disuelto fue subiendo, la media de este valor fue de 1.63mg/L.

8.2.3. Sensor de oxígeno disuelto sumergido en leche

Para la última prueba se utilizó leche. El oxígeno se encuentra disuelto en la leche y es consumido por el metabolismo de los microorganismos (Aerobios estrictos, anaerobios estrictos, anaerobios facultativos y los microaerofilos), algunos de ellos necesitan de la presencia de oxígeno para crecer, algunos solo crecen en ausencia de oxígeno y otros necesitan una pequeñas fracción de oxígeno para crecer. [32]. En la Tabla 7 se pueden observar los resultados de la prueba realizada con leche:

En la Tabla se muestra que la leche tiene poco oxígeno disuelto, ya que, como se dijo anteriormente, todo el oxígeno es consumido por los microorganismos, el promedio del oxígeno disuelto proveniente de la leche fue de 1.073 mg/L

Datos tomados	Oxígeno disuelto (mg/L)	Media (mg/L)	Desviación estándar (mg/L)
1	1.03	1.07	0.02
2	1.09		
3	1.07		
4	1.06		
5	1.09		
6	1.09		
7	1.09		
8	1.06		
9	1.09		
10	1.06		

Tabla 7: Resultado del oxígeno disuelto en leche

La facilidad de crecimiento de la cianobacteria es favorecida tanto en el suelo como en el medio acuático, preferentemente en los ambientes dulceacuícolas de aguas alcalinas o neutras, con un pH entre 6 y 9. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos con el sensor de pH propuesto.

9.1. Precauciones de uso

- El enchufe del electrodo debe mantenerse limpio y seco
- Se debe evitar la medición de la contaminación escalonada entre soluciones, para no afectar la precisión de la medición.
- El electrodo no debe sumergirse a largo plazo en una solución de cloruro de ácido.

9.2. Pruebas del sensor analógico de pH

En general, el agua con un $\text{pH} < 7$ se considera ácido y con un $\text{pH} > 7$ se considera básica o alcalina.

Para tener un mejor dato de cuanto tiempo se tarda el sensor de pH para estabilizarse completamente, se realizó una prueba en donde al saber el valor de pH que tiene un vaso con agua del grifo (7.57), se tomó el tiempo de 10 corridas con 5 minutos de descanso entre cada prueba, en donde el sensor llegaba al valor acordado.

Como se muestra en la siguiente Tabla (8), el sensor tiene un tiempo de respuesta (tiempo en el que se estabiliza) promedio de 12 segundos, es relativamente poco tiempo el que tarda el sensor en estabilizarse.

ESTABILIDAD DE SENSOR DE pH	
7.57	
Repeticiones	Tiempo (min)
1	00:12
2	00:10
3	00:15
4	00:13
5	00:14
6	00:15
7	00:15
8	00:11
9	00:09
10	00:15
PROMEDIO	00:12

Tabla 8: Tiempo de estabilización del sensor de pH

9.2.1. Pruebas del sensor de pH en agua potable

El rango normal de pH en agua superficial es de 6.5 a 8.5 y para las aguas subterráneas de 6 a 8.5. El pH del agua pura es de 7 a 25°C. Tomando esto en cuenta, se puso a prueba el sensor y como se nota en la siguiente Tabla, el valor de la media del pH fue de 7.43, y los resultados son los que se esperan (un valor entre 6 a 8.5).

Datos tomados	pH	Media	Desviación estándar
1	7.43	7.43	0.04
2	7.39		
3	7.44		
4	7.43		
5	7.42		
6	7.46		
7	7.40		
8	7.44		
9	7.51		
10	7.39		

Tabla 9: Resultado del pH puesto a prueba con agua purificada

9.2.2. Pruebas del sensor de pH en leche

El pH de la leche es una medición de la acidez real de la leche en el momento que se toma la prueba. El pH de la leche fresca es ligeramente ácida, normalmente de 6.5 a 6.7 pH a 25°C. Las pruebas realizadas se encuentran en la siguiente Tabla:

Datos tomados	pH	Media	Desviación estándar
1	6.57	6.57	0.01
2	6.56		
3	6.56		
4	6.56		
5	6.58		
6	6.57		
7	6.57		
8	6.56		
9	6.57		
10	6.56		

Tabla 10: Resultado del pH puesto a prueba con leche

Se obtuvo una media en el valor de pH de la leche de 6.566, y como era de esperarse, está dentro del rango de 6.5 a 6.7.

9.2.3. Pruebas del sensor de pH en jugo de naranja

En el caso específico del jugo de naranja, la química ha indicado que esta fruta cítrica en forma de zumo, presenta un valor de 2.3 a 3, siendo por lo tanto una fruta ácida, ubicada en el mismo renglón en donde se encuentra ubicado el vinagre de naranja.

Al momento de medir el pH del jugo de naranja con el sensor, nos da como resultado un poco más ácido de lo esperado. Esto puede ser a causa de que el jugo de naranja que se usó, es más ácido. Los resultados se muestran en la Tabla siguiente:

Datos tomados	pH	Media	Desviación estándar
1	1.88	1.90	0.01
2	1.91		
3	1.91		
4	1.90		
5	1.89		
6	1.89		
7	1.91		
8	1.90		
9	1.89		
10	1.90		

Tabla 11: Resultado del pH puesto a prueba con jugo de naranja

Sensor analógico de turbidez

El sensor de turbidez detecta la calidad del agua midiendo los niveles de turbidez u opacidad. Utiliza la luz para detectar partículas suspendidas en el agua.

A medida que aumenta la cantidad de sólidos suspendidos en el agua, aumenta el nivel de turbidez del líquido. La forma en la que se midió la turbidez del agua fue de la forma analógica.

En la Figura 30 se puede observar dos gráficas que establecen la relación entre la turbidez y la tensión medida por el sensor, la de la derecha es más precisa y además obtenemos directamente la medida en NTU por lo que será la que utilizaremos.

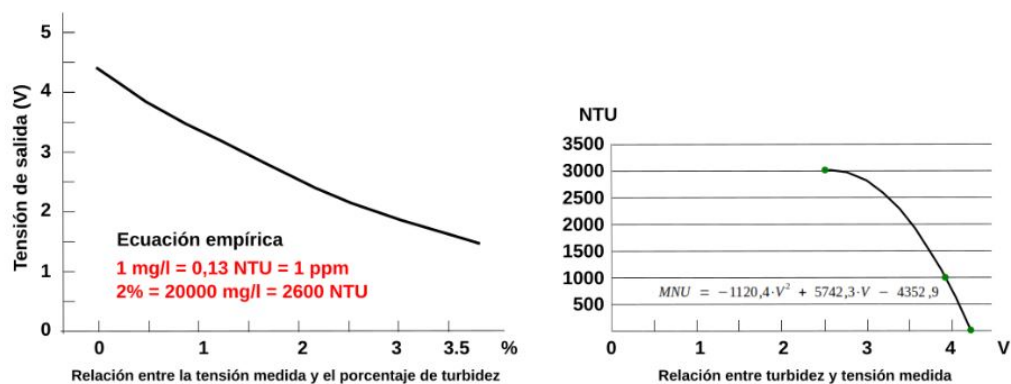


Figura 30: Relación entre turbidez y voltaje medido [25]

10.1. Pruebas del sensor analógico de turbidez

Se harán las pruebas con tres vasos preparados con disolución de café en agua.

El sensor de turbidez utiliza luz para detectar las diferentes partículas suspendidas en el agua al medir las tasas de dispersión y transmitancia, las cuales cambian con las diferentes cantidades totales de sólidos suspendidos (TSS) en el agua. El factor TSS incrementará si aumentan los niveles de turbidez en el líquido.

10.1.1. Prueba del sensor de turbidez con agua limpia

Para la primera prueba, el sensor fue colocado en un vaso con agua limpia, como se puede observar en la siguiente Figura:



Figura 31: Vaso con agua limpia

El resultado de la prueba se muestra en la siguiente Tabla (12)

Datos tomados	Voltaje(V)	Turbidez (NTU)	Media (NTU)	Desviación estándar
1	4.39	0.00	0.00	0.00
2	4.39	0.00		
3	4.39	0.00		
4	4.39	0.00		
5	4.39	0.00		
6	4.39	0.00		
7	4.39	0.00		
8	4.39	0.00		
9	4.39	0.00		
10	4.39	0.00		

Tabla 12: Resultado de prueba de turbidez en agua potable

Según la Figura 30 un voltaje mayor a 4.3V significa que el agua es muy transparente y no presenta turbidez. Según la OMS, la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 2NTU y estar idealmente por debajo de 1 NTU.

10.1.2. Prueba del sensor de turbidez en vaso con agua y media cucharada de café

Para esta prueba se utilizó un vaso de agua al cual se le agregó media cucharada de café.



Figura 32: Vaso con media cucharada de café disuelta en agua

El resultado de agregarle media cucharada de café soluble al agua, cambió la turbidez del agua, como se muestra en la Tabla 13:

Datos tomados	Voltaje(V)	Turbidez (NTU)	Media (NTU)	Desviación estándar
1	4.10	356.20	356.46	0.49
2	4.09	357.23		
3	4.09	357.12		
4	4.11	356.05		
5	4.10	356.23		
6	4.10	356.23		
7	4.10	356.20		
8	4.09	357.14		
9	4.10	356.20		
10	4.12	355.98		

Tabla 13: Resultado de prueba de turbidez en agua potable con media cucharada de café

Como se dijo anteriormente, La turbidez del agua se genera por la presencia de partículas en suspensión, entonces al agregar media cucharada de café soluble al agua, la turbidez aumentó y representando un valor de 356 NTU.

10.1.3. Prueba del sensor de turbidez en vaso con agua y una cucharada de café

Para esta prueba se utilizó un vaso de agua al cual se le agregó una cucharada de café soluble.

En este caso, la presencia de partículas en suspensión era mayor, por lo cual es coherente que la turbidez aumente, el resultado se muestra en la Tabla 14:



Figura 33: Vaso con una cucharada de café disuelta en agua

Datos tomados	Voltaje(V)	Turbidez (NTU)	Media (NTU)	Desviación estándar
1	4.10	2980.19	2983.01	1.37
2	2.68	2985.20		
3	2.70	2983.19		
4	2.71	2982.45		
5	2.69	2984.02		
6	2.70	2983.55		
7	2.71	2982.39		
8	2.70	2983.11		
9	2.72	2981.96		
10	2.73	2984.03		

Tabla 14: Resultado de prueba de turbidez en agua potable con una cucharada de café

El voltaje cambió y según la ecuación de la Figura 30, para 2.70V, la turbidez es de 2,984 NTU.

Sensor de temperatura

El rango de temperatura a la que generalmente se produce la tasa máxima de crecimiento de la cianobacteria se encuentra entre 25°C y 30°C, por encima del rango de temperatura óptima ocurre una disminución abrupta de la tasa de crecimiento. La temperatura alta, además no sería la causa per se de una floración.

11.1. Pruebas del sensor de temperatura

Para poner a prueba el sensor de temperatura, se utilizó un vaso con agua a diferentes temperaturas y también se tomó la temperatura corporal para poder corroborar el dato y comprobar su exactitud, comparándolo con un termómetro digital marca "microlife"

11.1.1. Prueba del tiempo de estabilidad del sensor de temperatura

Para tener un mejor dato de cuánto tiempo se tarda el sensor para estabilizarse completamente, se realizó una prueba en donde al saber la temperatura que tiene un vaso con agua del grifo (20.75 °C), se tomó el tiempo de 10 corridas con 5 minutos entre cada prueba, en donde el sensor llegaba a el valor acordado.

Como se muestra en la Tabla 15, el sensor tiene un tiempo de respuesta (tiempo en el que se estabiliza) promedio de 1 minuto con 22 segundos.

ESTABILIDAD DE SENSOR DE TEMPERATURA	
7.57	
Repeticiones	Tiempo (min)
1	01:15
2	01:30
3	01:22
4	01:27
5	01:20
6	01:21
7	01:18
8	01:24
9	01:25
10	01:23
PROMEDIO	01:22

Tabla 15: Tiempo de estabilización del sensor de temperatura

11.1.2. Prueba del sensor de temperatura con toma de temperatura corporal

Para poder comprobar la veracidad de los datos arrojados por el sensor de temperatura "DS18B20", se tomó la temperatura corporal de una persona por medio de un termómetro "microlife MT3001", el cual arrojó una temperatura de 36.2°C.



Figura 34: Imagen de termómetro corporal indicando 36.2°C

Inmediatamente después de sacar el termómetro "microlife" de la boca, se ingresó el sensor de temperatura "DS18B20", en la Tabla 16 se muestra que el resultado de la media de los datos que presentó fue de 36.17°C.

11.1.3. Prueba del sensor de temperatura con agua caliente

Se calentó un vaso de agua por 30 segundos en el microondas y se tomó la temperatura con el termómetro "microlife", y este arrojó una temperatura de 40.4°C.

Datos tomados	Temperatura (°C)	Media	Desviación estándar
1	36.10	36.17	0.03
2	36.13		
3	36.15		
4	36.19		
5	36.19		
6	36.16		
7	36.18		
8	36.19		
9	36.19		
10	36.19		

Tabla 16: Resultado de la temperatura corporal



Figura 35: Imagen de termómetro corporal indicando la temperatura del agua caliente

Al mismo tiempo, se colocó el sensor de temperatura "DS18B20z se obtuvo que la media de los datos que presentó fue de 40.38°C. Estos datos se pueden observar en la Tabla [17](#):

Datos tomados	Temperatura (°C)	Media	Desviación estándar
1	40.37	40.38	0.02
2	40.35		
3	40.36		
4	40.38		
5	40.40		
6	40.39		
7	40.39		
8	40.38		
9	40.39		
10	40.40		

Tabla 17: Resultado de la temperatura de agua caliente

11.1.4. Prueba del sensor de temperatura con agua fría

Para realizar la prueba de temperatura con agua fría se utilizó agua con hielo. El agua fría, en un ambiente de 25°C, se considera de 8°C a 2°C. Los resultados se muestran en la Tabla 18:

Datos tomados	Temperatura (°C)	Media	Desviación estándar
1	4.31	4.31	0.01
2	4.30		
3	4.30		
4	4.32		
5	4.31		
6	4.30		
7	4.30		
8	4.32		
9	4.32		
10	4.31		

Tabla 18: Resultado de la temperatura de agua caliente

Sensor de velocidad de viento

El modelo de anemómetro que se utiliza es un sistema formado de 3 cazoletas que son empujadas por el viento haciendo rodar todo el conjunto sobre un eje. Según el fabricante del sensor, la velocidad del viento y el voltaje que produce el sensor están relacionadas de la siguiente forma:

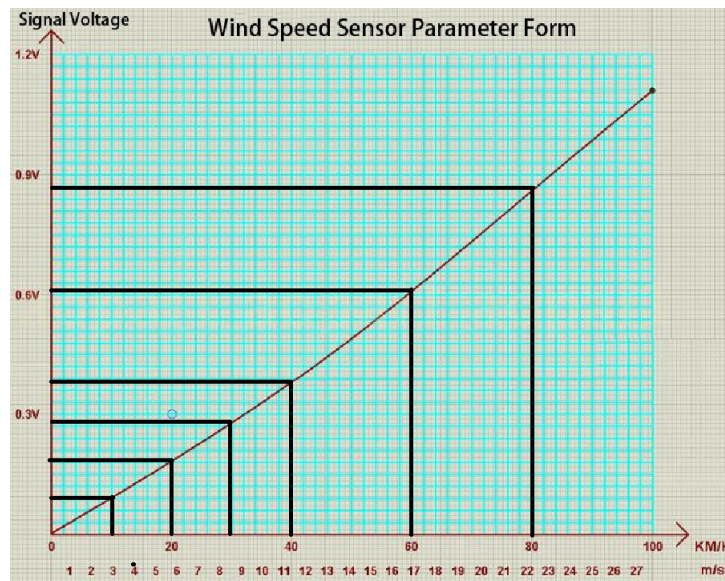


Figura 36: Gráfica de velocidad del aire - Voltaje generado por el sensor [28]

Para poder comprobar que la gráfica que el fabricante proporciona y si el sensor está funcionando correctamente, se realizó la siguiente prueba: en un día y en un lugar sin mucho viento, se salió a la calle con el carro y mientras un ayudante manejaba a cierta velocidad, se iba tomando el valor de voltaje que generaba el sensor. Es importante recalcar que para poder tomar un dato y así compararlo con el voltaje teórico, se realizaron 10 pruebas por velocidad, se muestra en la Tabla [19](#):

Repetición	10 km/h	20 km/h	30 km/h	40 km/h
1	0.10	0.18	0.27	0.36
2	0.12	0.17	0.26	0.38
3	0.12	0.16	0.27	0.38
4	0.09	0.18	0.27	0.37
5	0.10	0.18	0.28	0.38
6	0.10	0.17	0.26	0.37
7	0.11	0.18	0.23	0.38
8	0.12	0.16	0.28	0.36
9	0.09	0.17	0.28	0.36
10	0.10	0.17	0.26	0.38
PROMEDIO (mV)	0.10	0.17	0.27	0.37

Tabla 19: Pruebas realizadas de voltaje por velocidad

En la siguiente gráfica se muestran los resultados. Es importante recalcar que se tomaron estas cuatro muestras ya que las velocidades que nos interesan, se encuentran en este rango. En la gráfica se puede observar que la tendencia es lineal.

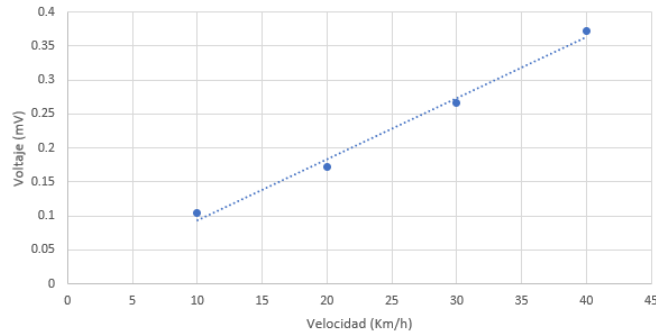


Figura 37: Gráfica de velocidad del aire - Voltaje generado por el sensor experimentalmente

Con los datos de la Tabla [20](#), se concluye que la prueba para comprobar que el sensor mide de manera correcta fue exitosa, ya que el error más grande es de 4.22 por ciento.

Velocidad (km/h)	Voltaje teórico (mV)	Voltaje experimental (mV)	Margen de error (%)
10	0.10	0.10	4.22
20	0.18	0.17	3.96
30	0.27	0.27	1.41
40	0.36	0.37	3.56

Tabla 20: Tabla comparativa entre voltaje teórico y voltaje experimental, según velocidad

Pruebas con sensores integrados

El objetivo de las pruebas es someter a los sensores a las condiciones que se encontrarán en el lago de Atitlán. Estas pruebas son de suma importancia ya que demostrarán el rango de funcionamiento que tienen para lograr afirmar que el lago de Atitlán es un lugar donde se pueden utilizar sin problema alguno.

Es importante realizar las pruebas con todos los sensores funcionando al mismo tiempo, ya que se puede comprobar que no haya alguna clase de interferencia entre sensores y permite observar cómo el cambio de condiciones afecta a los valores que nos ofrecen los sensores.

A continuación se encuentra un resumen de las condiciones del lago de Atitlán:

La temperatura en el lago de Atitlán desde el año 2013 hasta el 2019 en el centro del lago se encuentra entre 20°C y 25°C, la temperatura más alta se encuentra en la capa superficial del lago (epilimnion) y las temperatura más bajas se encuentran entre la capa llamada termoclina e hipolimnion (capas profundas) y son por debajo de 21°C [15].

El oxígeno disuelto en el lago de Atitlán ha mostrado altas concentraciones de oxígeno en la superficie y bajas concentraciones en las capas profundas. Durante el año 2019, el oxígeno disuelto en la superficie osciló entre los 4mg/L y 7mg/L, mientras que por debajo de los 30 metros de profundidad disminuyó a 3 o 2mg/L [15].

El potencial de hidrógeno (pH) que se encontró en el lago de Atitlán desde el año 2016 hasta el 2019 en general osciló entre 7 y 10 unidades. En algunos puntos del lago los valores fueron más alcalinos en la superficie que otros y esto podría estar asociado a eventos de florecimiento de fitoplancton; el pH del agua disminuye cuando el dióxido de carbono atmosférico se une con la capa superficial del agua, no obstante, los organismos fotosintéticos durante el proceso de fotosíntesis absorben el dióxido de carbono disuelto y es así como provocan un aumento del pH en el lago [15].

La turbiedad o turbidez en las cuencas del lago de Atilán muestran que en 2015 los ríos Cojolyá y El Tzalá promediaron en las muestras la mayor turbidez con valores de 28.7 mg/L (86.1 NTU) y 34.9mg/L (104.7 NTU) respectivamente. y los ríos Tzununá y Barreneché promediaron en las muestras la menor turbidez con valores menores a 5mg/L (15 NTU) [29].

La velocidad del viento en el lago de Atilán en el año 2013 mostró variaciones mensuales, los vientos más fuertes se registraron en enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre, alcanzando los 9.4 Km/h en enero; el mes de septiembre presentó las menores velocidades promedio durante el año con 1.93 Km/h [30].

Por lo tanto, para probar la funcionalidad de los sensores, se tomó en cuenta los parámetros anteriormente descritos y plasmados en la Tabla [21]:

Parámetro	Bajo	Alto
Temperatura (°C)	20	25
Velocidad Viento (km/h)	1.93	10
Turbidez (NTU)	15	105
pH	7	10
Oxígeno disuelto (mg/L)	2	7

Tabla 21: Parámetros para prueba de funcionamiento de sensores

13.1. Pruebas realizadas a los sensores

Como se explicó en los capítulos anteriores, son 5 los sensores que se utilizarán, el sensor de temperatura, el sensor de viento, el sensor de turbidez, el sensor de pH y el sensor de oxígeno disuelto.

En la Tabla [22] se muestra como se conectaron los 5 sensores en el Arduino MEGA.

Sensor	Pin (Arduino Mega)
Temperatura	2
Velocidad viento	A0
Turbidez	A1
pH	A2
Oxígeno disuelto	A3

Tabla 22: Pines correspondientes a cada sensor en el Arduino MEGA

13.1.1. Sensor de temperatura

Para la temperatura, como se observa en la Tabla 21, se mantiene en un rango entre 20 y 25°C, para esto, se realizaron tres pruebas diferentes:

- Temperatura baja (<20°C)
- Temperatura media
- Temperatura alta (>25°C)

Para la primera prueba, se utilizó agua de grifo y se le introdujo hielo para poder enfriarla, como se muestra a continuación:



Figura 38: Prueba de temperatura baja

Según esas condiciones se obtuvieron los siguientes resultados:

```
Temperatura: 19.94C  
Vel. Viento: 0.00Km/h  
Turbidez: 0.00NTU  
pH: 6.67  
Oxígeno Disuelto: 6.37
```

Figura 39: Resultados prueba de temperatura baja

Como se puede observar, efectivamente la temperatura bajó hasta 19.24 grados centígrados, la velocidad del viento se mantuvo en 0 Km/h, la turbidez, como era agua clara e iluminada, se encontró en 0.00 NTU, el pH en 6.67 y el oxígeno disuelto en 6.37 mg/L.

Posteriormente, se hizo una prueba con agua a temperatura normal, utilizando únicamente agua de grifo:



Figura 40: Prueba de temperatura media

Y se obtuvieron los siguientes resultados para temperatura media:

```
Temperatura: 21.63C  
Vel. Viento: 0.00Km/h  
Turbidez: 0.00NTU  
pH: 6.63  
Oxígeno Disuelto: 7.64
```

Figura 41: Resultados prueba de temperatura media

Como se observa en la Figura anterior, la temperatura subió a 21.63 grados centígrados, la velocidad de viento se mantuvo en 0 Km/h, la turbidez se mantuvo, el pH en 6.63 y el oxígeno disuelto se encontró en 7.64 mg/L.

Por último, se realizó una prueba con agua más caliente, una taza se calentó por 30 segundos en el microondas y se vertió el agua caliente en el recipiente que contenía el agua a temperatura media:



Figura 42: Prueba de temperatura alta

Y con estas condiciones, se obtuvieron los resultados:

```
Temperatura: 25.50C  
Vel. Viento: 0.00Km/h  
Turbidez: 0.00NTU  
pH: 6.43  
Oxígeno Disuelto: 7.91
```

Figura 43: Resultados prueba de temperatura alta

La temperatura subió hasta 25.50 grados centígrados, la velocidad del viento y la turbidez se mantuvo y el pH se encontró en 6.43 y el oxígeno disuelto en 7.91 mg/L

Con estos resultados obtenidos, comparados con la Tabla [21](#), se puede afirmar que el sensor de temperatura funcionaría correctamente en las condiciones del lago de Atitlán.

13.1.2. Sensor de velocidad de viento

Para el sensor de viento, las condiciones del lago de Atitlán rondan entre los 2 y 10 $\frac{km}{h}$ por tanto, se decidió realizar 3 pruebas también:

- Sin viento
- Baja velocidad de viento (<5 km/h)
- Alta velocidad de viento (>10 km/h)

Para la primera prueba, se dejó el anemómetro sin aplicarle movimiento o aire:



Figura 44: Prueba de velocidad sin viento

Y se obtuvieron los resultados:

```
Temperatura: 21.63C  
Vel. Viento: 0.00Km/h  
Turbidez: 0.00NTU  
pH: 6.63  
Oxígeno Disuelto: 7.64
```

Figura 45: Resultados prueba de velocidad sin viento

Posteriormente, se procedió a utilizar una secadora de pelo para proporcionar aire al sensor y lograr el movimiento del mismo como se muestra a continuación:



Figura 46: Prueba de velocidad con viento bajo

Y en estas condiciones, los resultados fueron los siguientes:

```
Temperatura: 22.75C
Vel. Viento: 0.50Km/h
Turbidez: 0.00NTU
pH: 6.36
Oxígeno Disuelto: 7.14
```

Figura 47: Resultados prueba de velocidad con viento bajo

Como se puede observar en la Figura anterior, al aplicarle aire a todo el sistema de sensores, cambió el valor de la velocidad del viento, pero también cambió el valor del oxígeno disuelto, ya que al aplicarle aire, el movimiento del agua hace que se oxigene el agua.

Como último paso, se utilizó la secadora proporcionando más aire para poder incrementar la velocidad del sensor y se obtuvo el siguiente resultado:

```
Temperatura: 22.06C
Vel. Viento: 12.5 Km/h
Turbidez: 0.00NTU
pH: 6.58
Oxígeno Disuelto: 7.45
```

Figura 48: Resultados prueba de velocidad con viento alto

Se observa en la Figura anterior que al aplicarle más aire a todo el sistema de sensores, cambia el valor de la velocidad del viento a 12.5 Km/ y el valor de oxígeno disuelto a 7.45mg/L

Con estos resultados obtenidos, comparados con la Tabla de valores promedio en los últimos años, se puede afirmar que el sensor de velocidad también funcionaría correctamente en las condiciones del lago de Atitlán.

13.1.3. Sensor de turbidez

Luego del sensor de temperatura y velocidad, se hicieron pruebas con el sensor de turbidez. En el lago de Atitlán, este valor ronda entre los 15 y 105 NTU. Por lo que se hicieron dos pruebas:

- Baja turbidez (Cercana a 0 NTU)
- Alta turbidez (>500 NTU)

Para la primera parte, se midió la turbidez de un recipiente con agua de grifo:



Figura 49: Prueba de turbidez baja

Y se obtuvo el siguiente resultado:

```
Temperatura: 21.63C  
Vel. Viento: 0.00Km/h  
Turbidez: 0.00NTU  
pH: 6.63  
Oxígeno Disuelto: 7.64
```

Figura 50: Resultados prueba de turbidez baja

La turbidez, como era de esperarse es de 0.00 NTU, ya que se sometió a agua clara. Luego para la segunda prueba, se vertió una cuchara de café disuelto en el agua para modelar una sustancia mas turbia:



Figura 51: Prueba de turbidez alta

Con esta sustancia, se obtuvo el siguiente resultado:

```
Temperatura: 21.69C  
Vel. Viento: 0.00Km/h  
Turbidez: 640.08NTU  
pH: 6.33  
Oxígeno Disuelto: 6.73
```

Figura 52: Resultados prueba de turbidez alta

Como se observa, la turbidez aumentó a 640.08 NTU, el pH bajó a 6.33 ya que el café tiene un pH más ácido que el agua.

Se logra afirmar que los rangos de medición del sensor de turbidez funcionan correctamente en el lago de Atitlán.

13.1.4. Sensor de pH

Como penúltima prueba, se revisaron los valores que el sensor de pH puede medir. Para el lago de Atitlán, en los últimos años se han presentado valores entre 7 y 10. Por tanto, se hicieron mediciones en dos casos:

- pH bajo
- pH alto

Para la medición de pH bajo, se hizo con un recipiente con agua:



Figura 53: Prueba de pH bajo

Y se obtuvieron los siguientes resultados:

```
Temperatura: 21.63C  
Vel. Viento: 0.00Km/h  
Turbidez: 0.00NTU  
pH: 6.63  
Oxígeno Disuelto: 7.64
```

Figura 54: Resultados prueba de pH bajo

Como se observa en la Figura anterior, el pH del agua de grifo ronda a un valor relativamente cercano a 7, que es el valor típico de pH del agua.

Luego, se virtió cloro y un poco de jabón a la sustancia, para poder hacer una sustancia más básica:



Figura 55: Prueba de pH alto

Con este escenario, se obtuvo el siguiente resultado:

```
Temperatura: 21.50C  
Vel. Viento: 0.00Km/h  
Turbidez: 46.28NTU  
pH: 11.2  
Oxígeno Disuelto: 5.96
```

Figura 56: Resultados prueba de pH alto

Como se observa en la Figura anterior, el pH del agua con cloro y jabón, se encontró en 11.7, la turbidez subió a 46.28 NTU y el oxígeno disuelto bajó a 5.96 mg/L.

Con estos dos resultados, los valores que se obtuvieron demuestran que se pueden realizar mediciones correctas de pH con este sensor en el lago de Atitlán.

13.1.5. Sensor de oxígeno disuelto

Como última prueba, se verificaron los valores que mide el sensor de oxígeno disuelto. Las condiciones del lago en los años anteriores muestran valores entre 2 y 7 $\frac{mg}{L}$. Por tanto se decidió hacer de igual manera las siguientes dos pruebas:

- Nivel de oxígeno disuelto bajo
- Nivel de oxígeno disuelto alto

Para el nivel de oxígeno disuelto bajo, se utilizó Pepsi Cola para realizar las mediciones:



Figura 57: Prueba oxígeno disuelto bajo

Con esta prueba, se obtuvieron los siguientes resultados:

Temperatura: 18.00C
Vel. Viento: 0.00Km/h
Turbidez: 1388.08NTU
pH: 4.46
Oxígeno Disuelto: 1.12

Figura 58: Resultados prueba de oxígeno disuelto bajo

El oxígeno disuelto, como era de esperarse, bajó a 1.12 mg/L, el pH también bajó a 4.46 y era de esperarse, ya que las aguas gaseosas son más ácidas que el agua del grifo, también la turbidez subió a 1388.08 NTU.

Luego se procedió a medir el oxígeno disuelto alto, para esto se utilizó agua de grifo y se obtuvieron los siguientes resultados:

```
Temperatura: 21.63C
Vel. Viento: 0.00Km/h
Turbidez: 0.00NTU
pH: 6.63
Oxígeno Disuelto: 7.64
```

Figura 59: Resultados prueba de oxígeno disuelto alto

Adicionalmente a los otros sensores, se comprueba que el sensor de oxígeno disuelto puede medir los niveles que maneja el lago de Atitlán.

13.2. Observaciones

El lago de Atitlán ha manejado diferentes niveles de temperatura, velocidad de viento, turbidez, pH y oxígeno disuelto en los últimos años. El propósito de estas pruebas fue demostrar que los niveles manejados en las condiciones del lago de Atitlán podrían ser medidos con estos sensores.

Realizando estas pruebas, se puede confirmar que los sensores son aptos para trabajar en el lago de Atitlán, aún empeorando ciertas condiciones, los sensores podrían seguir realizando las mediciones sin ningún problema.

Integración de módulos GSM y GPS con red de sensores

Ya con las mediciones correctas de los sensores, se procedió a hacer una integración de todos los sensores con los módulos GSM y GPS.

14.1. Integración con módulo GSM

Para esto, se hicieron pruebas en dos sustancias diferentes:

- Agua de grifo
- Pepsi cola

La prueba con el agua de grifo representa las condiciones ideales del agua. Para poder enviar los valores de los sensores se debe recibir un mensaje con la palabra 'Enviar'.

A continuación se muestran las dos pruebas:



Figura 60: Resultados prueba de envío de mensaje en agua de grifo



Figura 61: Resultados prueba de envío de mensaje en Pepsi cola

Con estas pruebas se verifica correctamente el proceso de envío de mensaje, se hizo en dos sustancias diferentes para obtener diferentes mediciones de los sensores. Para realizar este envío de mensaje, el proceso que sigue el módulo GSM es el siguiente:

```

Recibiendo mensaje

+CIEV: "MESSAGE",1

+CMT: "+50230238078",,"2020/05/29,23:08:51+06"
Enviar

Se recibió Enviar
1.57
enviando..
AT

OK
AT+CMGF=1

OK
AT+CMGS="+50230238078"

> Temperatura: 21.44C
Vel. Viento: 0.00Km/h
Turbidez: 0.00NTU
DAT+CMGD=1,4
AT+CMGL="ALL",0

+CMGS: 78

OK

```

Figura 62: Proceso de envío de mensaje en módulo GSM

Cuando se recibe la palabra "Enviar" se empieza todo el proceso de recolección de sensores, ejecuta los comandos y logra el envío del mensaje con toda esa información.

14.2. Integración con módulo GPS

Posteriormente, se integró el módulo GPS, añadiendo al mensaje la fecha, hora, latitud, longitud y altitud. Esta prueba se muestra a continuación:



Figura 63: Resultados prueba envío de mensaje con información del GPS

Las pruebas se realizaron con todos los sensores funcionando, como se muestra en la siguiente Figura:

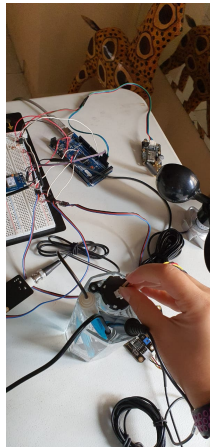


Figura 64: Escenario planteado para la medición e integración de los sensores

Se realizaron 4 prototipo de boya, con diferentes diseños para poder analizar qué características físicas se debían mejorar para su correcta implementación.

15.1. Primer prototipo

Para el primer prototipo de la boya, se realizó una esfera partida en dos, con la cara de abajo plana. En la parte superior de la boya, se encontraba un hueco, el cual nos sería ya sea para la antena para el módulo GPS o el módulo GSM.

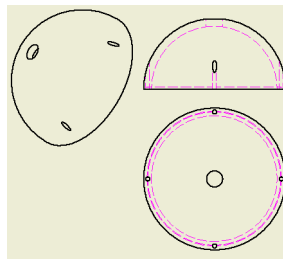


Figura 65: Primer prototipo del diseño de la boya - Superior

El diseño original contenía un espacio en la parte de abajo para que pudiera entrar el agua de manera controlada y así poder obtener valores de manera continua.

El problema con este prototipo es que por cualquier movimiento provocado por la corriente del cuerpo de agua, se podía dar vuelta rápidamente, y de esa forma, el sensor de velocidad del viento no puede funcionar.

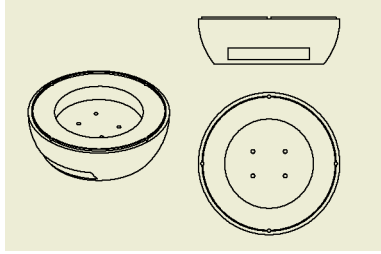


Figura 66: Primer prototipo del diseño de la boya - Inferior

15.2. Segundo prototipo

Para el siguiente prototipo de la boya se realizó un cilindro hueco, de 20 centímetros de radio y 20 centímetros de altura. El cilindro, para ser impreso en 3D se tuvo que partir en 4. En la Figura [67](#) se muestran las cuatro piezas que se imprimieron.

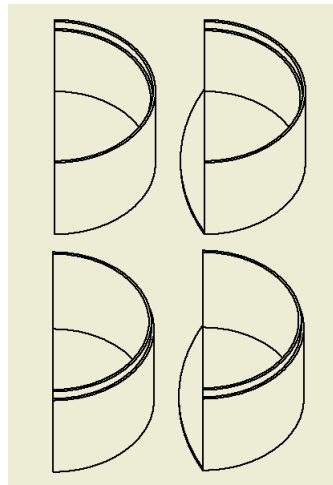


Figura 67: Segundo prototipo - cilindrico

Se hizo en forma de cilindro ya que es más fácil que una parte quede flotando y la otra no. Es un diseño mucho más sencillo pero al estar sellado, no sufre de fugas hacía el circuito.

Es importante mencionar que al momento de imprimirlo en 3D, se tiene que emplear una capa de impermeabilizante en la pieza y así prevenir las fugas al 100

15.3. Tercer prototipo

Para el tercer prototipo, ya se utilizó los cálculos de flotabilidad. En la que se utilizó un radio de 120mm y un volumen sumergido de 0.001072330429m^3 . Es una boya totalmente esférica, que no tiene que sobrepasar un peso de 9.5 libras para poder flotar.

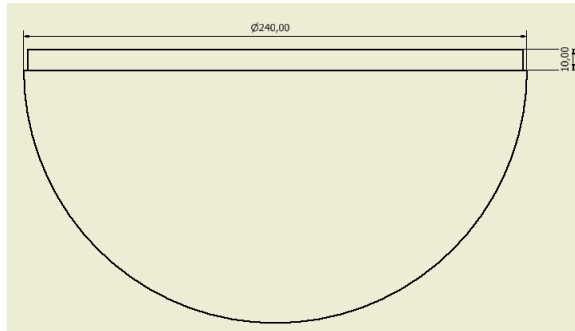


Figura 68: Diseño de la parte inferior de la boya

En la Figura 68 se muestra de manera frontal la boya de la parte de abajo, con un diámetro de 240 mm y una pestaña de encaje de 10 mm.

15.3.1. Tercer prototipo físico

Para poder crear el tercer prototipo físicamente, se utilizó como molde una pelota de plástico que medía 230mm de diámetro.

Para la ejecución, se utilizó una mezcla especial entre goma, agua, papel higiénico, esto solo se utilizó para crear una base, porque para que la boya sea funcional, se necesita que sea impermeable y duradera, por lo tanto, se realizó un impermeabilizante casero, a base de silicón frío y alcohol.

El principal problema, en primera instancia, con este prototipo era que a la hora de flotar, se tambaleaba mucho. La solución que se utilizó fue agregar fragmentos de flotadores tubulares, esto para obtener un mejor sustento como se muestra en la siguiente Figura:



Figura 69: Parte inferior de la boya

Ahora, la parte inferior de la boya ya flotaba, ahora se necesitaba que la parte superior, de alguna forma, encajara con la parte inferior de la boya, para eso se creó un canal hecho de silicón caliente como se muestra en la Figura 70. Esto se realizó con mucha delicadeza para que no hubieran filtraciones en esta parte.



Figura 70: Canal realizado para el acople de la parte inferior con parte superior

Al final, la boya es permeable, fuerte y estable. Como se dijo anteriormente, la boya puede aguantar un peso máximo dentro de ella de 5.6 libras. En la siguiente Figura se muestra como queda la boya acoplada de la parte inferior y superior.



Figura 71: Boya

Este prototipo no es el final, ya que se necesita un material con mayor impermeabilidad y durabilidad.

Cuarto prototipo e integración de módulos

Para el cuarto prototipo, se decidió crear un sistema funcional con la implementación de todos los sensores. Por tanto, según el prototipo 3, se vieron algunas mejoras de estabilidad y durabilidad de los materiales. Este prototipo se presenta a continuación:

16.1. Elaboración

El cuarto prototipo fue basado en el diseño del tercer prototipo, se escogió un objeto con forma parecida y se adaptó para poder lograr flotabilidad y mediciones. La vista frontal de este prototipo se muestra en la Figura [72](#):

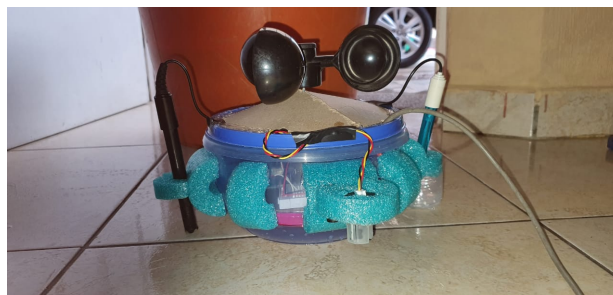


Figura 72: Vista lateral del cuarto prototipo

La vista superior se muestra en la Figura 73, se realizaron espacios especiales para cada sensor, para que el sensor quedara de forma estable y no interfiriera con algún otro:



Figura 73: Vista superior del cuarto prototipo

16.2. Pruebas realizadas al cuarto prototipo

Posteriormente a la elaboración del cuarto prototipo, se propusieron pruebas en cinco diferentes escenarios para medir las propiedades de los sensores:

- Primer escenario: Agua potable a temperatura ambiente
- Segundo escenario: Agua potable con hielo
- Tercer escenario: Agua potable a temperatura ambiente con Pepsi Cola
- Cuarto escenario: Agua potable a temperatura ambiente con jabón
- Quinto escenario: Agua potable a temperatura ambiente con café

Y los resultados de cada escenario se presentan a continuación.

16.2.1. Prueba con agua potable a temperatura ambiente

Para la prueba con agua potable a temperatura ambiente, se introdujo el prototipo en agua sin alterar sus propiedades y sin viento, como se muestra en la Figura 74:



Figura 74: Prueba de cuarto prototipo en agua

Los valores obtenidos de la prueba se muestran en la Figura 75:

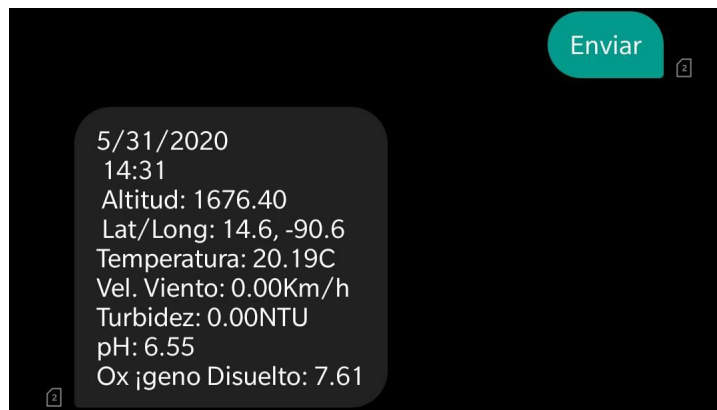


Figura 75: Resultado de cuarto prototipo en agua

Las mediciones realizadas muestran el correcto funcionamiento de los sensores.

16.2.2. Prueba de agua potable con aire

Posteriormente, se cambió la condición del aire,virtiéndole con una secadora de pelo como se muestra en la Figura 76:



Figura 76: Cuarto prototipo en aguavirtiéndole aire

Obteniendo los siguientes resultados:



Figura 77: Resultado de cuarto prototipo en aguavirtiéndole aire

En este caso, cambiaron los resultados de manera esperada, mostrando una velocidad de 0.7km/h.

16.2.3. Prueba de agua potable con hielo

Para esta prueba, se vertió cierta cantidad de hielo en agua potable, como se muestra en la siguiente Figura:



Figura 78: Cuarto prototipo en agua potable con hielo

Con este escenario, se envió el mensaje al sensor GSM y se recibieron los datos de la Figura 79:



Figura 79: Resultado de cuarto prototipo en agua potable con hielo

Con estos resultados se puede afirmar la correcta medición de la prueba, demostrando la funcionalidad de la boya en el segundo escenario.

16.2.4. Prueba de agua potable a temperatura ambiente con Pepsi Cola

Para esta prueba, se vertió cierta cantidad de Pepsi en agua potable, como se muestra en la siguiente Figura:



Figura 80: Cuarto prototipo en agua potable con Pepsi

Con este escenario, se envió el mensaje a la boya y se recibieron los datos de la Figura 81:



Figura 81: Resultado de cuarto prototipo en agua potable con Pepsi Cola

Con estos resultados se puede afirmar la correcta medición de la prueba, demostrando la funcionalidad de la boya en el tercer escenario.

16.2.5. Prueba de agua potable a temperatura ambiente con jabón

Para esta prueba, se vertió cierta cantidad de jabón en el agua potable, como se muestra en la Figura 82:



Figura 82: Cuarto prototipo en agua potable con jabón

Con el cuarto escenario planteado, se envió el mensaje a la boya y se recibieron los datos de la Figura 83:



Figura 83: Resultado de cuarto prototipo en agua potable con jabón

Recibiendo nuevamente resultados acertados, la boya funciona correctamente en el cuarto escenario planteado.

16.2.6. Prueba de agua potable a temperatura ambiente con café

Para esta prueba, se vertió café en el agua potable, como se muestra en la Figura 84:



Figura 84: Cuarto prototipo en agua potable con jabón

Con el último escenario planteado, se envió el mensaje a la boya y se recibieron los datos de la Figura 85:



Figura 85: Resultado de cuarto prototipo en agua potable con café

Recibiendo nuevamente resultados acertados, la turbidez de esta sustancia subió como se esperaba, demostrando que la boya funciona correctamente en el último escenario planteado.

Para el quinto prototipo se tomaron en cuenta los errores de los anteriores prototipos, tales como tamaño, estabilidad y peso. Se pensó en un diseño que permitiera que gran parte de la boya fuera sumergida en el lago para dar más estabilidad, pero también que tuviera una parte afuera para poder tomar las mediciones de la velocidad del viento.

17.1. Diseño del quinto prototipo

La parte inferior de la boya se diseñó de la siguiente forma:

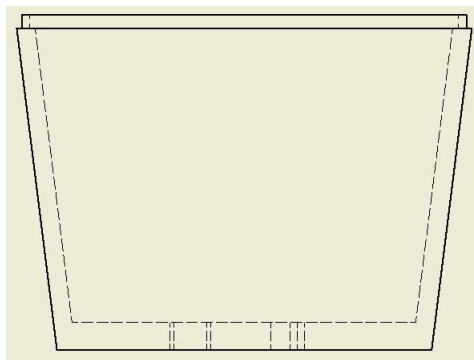


Figura 86: Quinto prototipo de la boya, parte de abajo (vista frontal)

Como se observa en la Figura [87](#), en la parte inferior del diseño se colocaron 4 agujeros, 3 redondos de 12 mm, 15 mm y 5.5mm de diámetro y uno rectangular de 7.5 mm de alto y 10 mm de ancho. Estos servirán para que los sensores de oxígeno disuelto, de temperatura,

de pH y de turbidez puedan obtener sus lecturas correspondientes.

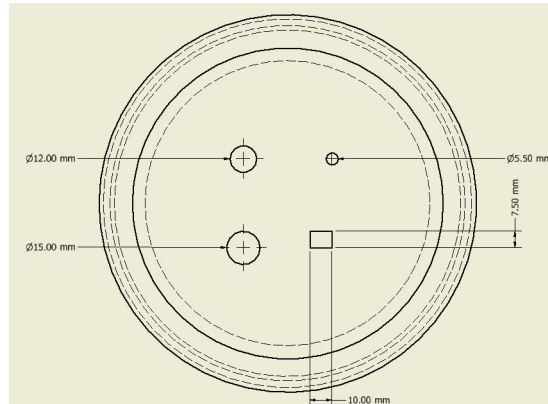


Figura 87: Quinto prototipo de la boya, parte de abajo (vista de planta)

Es importante recalcar que para que la parte inferior y superior de la boya pudieran acoplarse, se realizó un acople por medio de una franja al rededor de las piezas.

Para la tapadera de la boya se diseñó con una altura de 35 mm y un cilindro arriba de 10 mm como se muestra en la siguiente Figura:

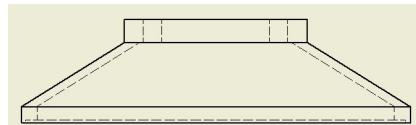


Figura 88: Quinto prototipo de la boya, parte de arriba (vista frontal)

En la tapadera de la boya, arriba del cilindro de 10 mm se colocaron dos agujeros de 8 mm de diámetro cada uno para poder colocar el sensor de velocidad de viento.

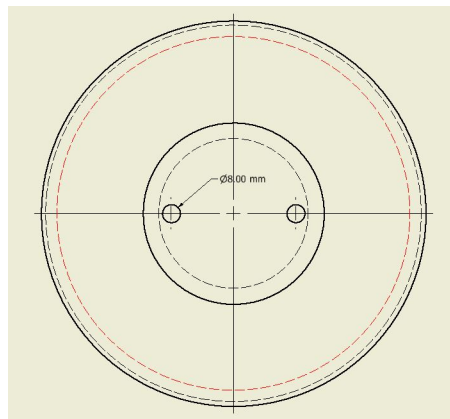


Figura 89: Quinto prototipo de la boya, parte de arriba (vista superior)

En la siguiente Figura se muestra la parte inferior de la boya y la tapadera unidas. En total, el diseño tiene una altura de 165 mm.

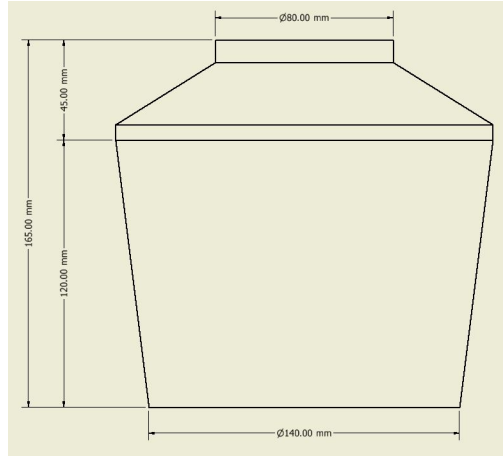


Figura 90: Quinto prototipo de la boya (vista frontal)

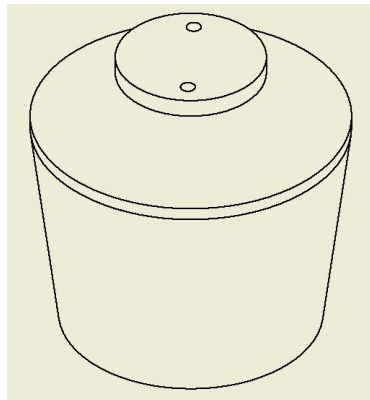


Figura 91: Quinto prototipo de la boya, parte de arriba (vista alzada)

En la Tabla 23 se muestran las propiedades físicas del diseño tales como el peso, el área, el volumen y el centro de gravedad, ya sea de cada pieza por separado o la boya.

Estos datos los proporciona Autodesk Inventor al realizar el diseño y seleccionar un material del que será fabricado, en este caso se eligió ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), ya que es un filamento muy utilizado para la impresión 3D.

VARIABLES	PARTE INFERIOR	PARTE SUPERIOR	BOYA COMPLETA
Masa (lb)	0.41226443	0.11464038	0.526
Área (m ²)	0.146052792	0.061342738	0.207395714
Volumen (m ³)	0.000522834	0.000144482	0.000667314
CENTRO DE GRAVEDAD			
X (m)	8.00E-05	0	5.08E-05
Y (m)	0.04944	0.023903	0.0699008
Z (m)	3.90E-05	0	2.54E-05

Tabla 23: Tabla de las propiedades físicas del quinto prototipo de la boya

17.2. Elaboración del quinto prototipo

Para el quinto prototipo, se realizó la impresión 3D de las piezas, se decidió optar por la persona independiente, por dos razones: el precio y la agilidad de impresión. Debido a las medidas de la pandemia, las demás empresas tenían otros trabajos pendientes lo cual influyó en esta decisión. Las piezas elaboradas se muestran a continuación:

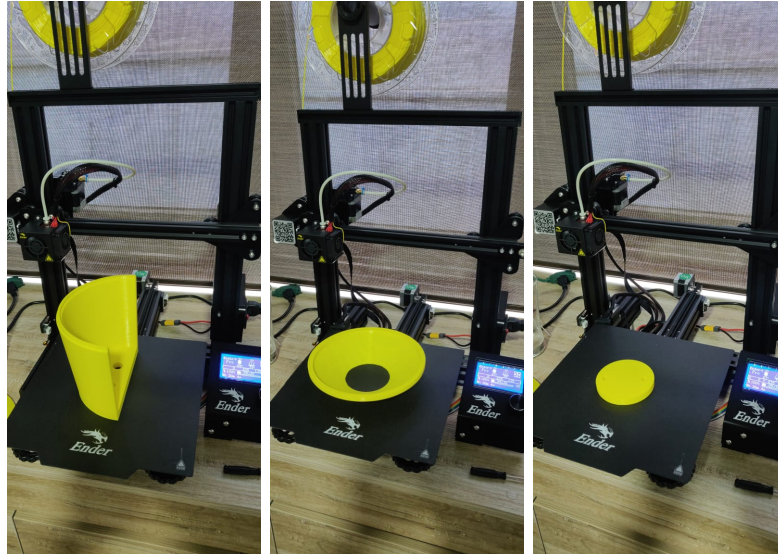


Figura 92: Partes impresas en 3D para quinto prototipo

Posteriormente a su elaboración, se procedió a la unión de todas ellas y ver el peso total de la boya con una balanza de cocina, pesando 262 gramos como se muestra en la Figura

93:



Figura 93: Partes unidas y verificación de peso del quinto prototipo

Posteriormente se integraron los sensores en sus lugares correspondientes:



Figura 94: Integración de sensores al quinto prototipo impreso

Para este prototipo, se hicieron pruebas de estabilidad, el cual demostró funcionar para la parte inferior como se muestra en la siguiente Figura:



Figura 95: Quinto prototipo flotando

Esta prueba falló al incluir la parte superior. Esta versión de la boya presentaba cierta inestabilidad al incluir el sensor de viento, por lo que se procedió a crear otro diseño de la parte superior de la boya y lograr corregir estos errores. Estos se verán en el siguiente prototipo.

Para el sistema final, se decidió realizar otro diseño de la parte superior de la boya, ya que presentaba cierta inestabilidad a la hora de ser sumergida. Primero se hicieron los cálculos de flotabilidad de la misma para respaldar su funcionamiento y posteriormente se realizaron pruebas en distintos escenarios. Los resultados de este sistema se muestran a continuación.

18.1. Diseño y elaboración del sistema final

Para establecer el sistema final, se vieron los aspectos en los que se fallaron anteriormente: se cambió el diseño de la Figura 88 a una tapadera horizontal con un espacio para el sensor de viento, generando el sistema final a continuación:

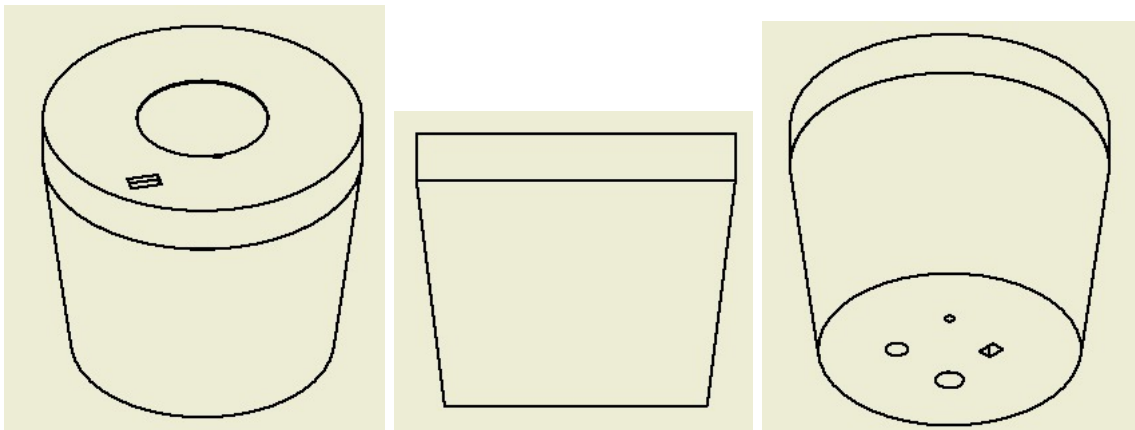


Figura 96: Diseño del prototipo final desde diferentes vistas

Se evaluaron diferentes aspectos como la masa, el centro de gravedad, para lograr la estabilidad de la misma en el agua. En la Figura 97 se puede apreciar de mejor manera esto:

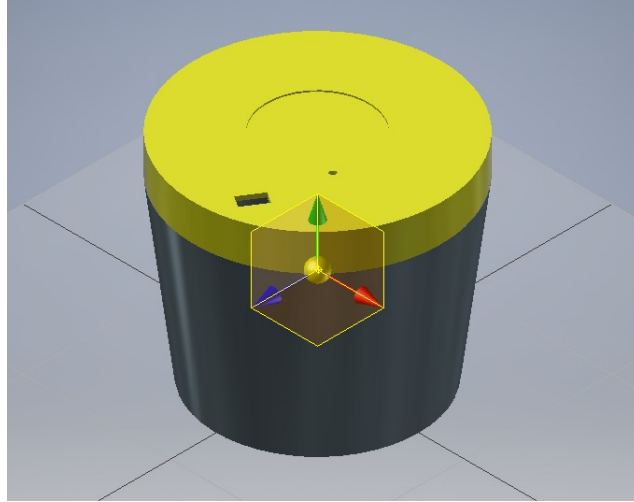


Figura 97: Vista 3D del diseño para el sistema final

A continuación se muestran otras propiedades de la tapa superior diseñada:

VARIABLES	PARTE SUPERIOR
Masa (lb)	0.068343301
Área (m ²)	0.070291968
Volumen (m ³)	0.086973486
CENTRO DE GRAVEDAD	
X (mm)	-0.222
Y (mm)	-0.273
Z (mm)	20.118

Tabla 24: Propiedades de la parte superior creada

18.1.1. Flotabilidad del sistema final

La flotabilidad que actúa sobre un objeto es directamente proporcional al volumen de la parte del objeto que se encuentra sumergida. En otras palabras, mientras se sumerja una parte más grande del objeto, la flotabilidad que actuará sobre él será mayor.

La boya que se utilizará tendrá los sensores incluidos en la parte inferior, formando parte del peso. La flotabilidad de un objeto en estado estacionario, se encuentra dado por la siguiente fórmula:

$$F_{\text{Flotabilidad}} = V_{\text{Sumergido}} * D_{\text{Fluido}} * Gravedad \quad (2)$$

Para calcular la flotabilidad del agua, se necesita saber que la densidad es el peso contenido en un volumen, es decir,

$$densidad = \frac{masa}{volumen} \quad (3)$$

La densidad del agua dulce en una temperatura de 15°C, es de $999.1026 \frac{kg}{m^3}$ y la densidad del agua dulce a una temperatura de 25°C, es de $997.0479 \frac{kg}{m^3}$. En cambio, la densidad de las aguas negras, que es una de las causas de contaminación del lago, es de $1500 \frac{kg}{m^3}$. Para fines prácticos, se utilizará una densidad de $1000 \frac{kg}{m^3}$ como el agua, si en dado caso aumenta, la flotabilidad mejorará.

Para el volumen de la parte inferior, tomando una sección de cono truncado, se obtiene de la fórmula:

$$V = \frac{1}{3}\pi*h*(r1^2+r2^2+r1*r2) = \frac{1}{3}\pi*0.125m*[(0.17m)^2+(0.14m)^2+0.17m*0.14m] = 0.009464m^3 \quad (4)$$

Asumiendo que 3/4 de la parte inferior flota

$$V_{Sumergido} = \frac{3}{4} * 0.009464m^3 = 0.0070980359m^3 \quad (5)$$

Posterior a este cálculo, como se mencionó anteriormente, la densidad se tomará la del agua ideal. Por tanto:

$$D_{Fluido} = 1000 \frac{kg}{m^3} \quad (6)$$

Y por último, asumimos que la fuerza de gravedad actuando sobre la boya es:

$$Gravedad = 9.81 \frac{N}{kg} \quad (7)$$

Teniendo ya todos estos datos, se puede calcular la fuerza de flotabilidad, dando como resultado el siguiente:

$$F_{Flotabilidad} = 0.0070980359m^3 * 1000 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{N}{kg} = 64.59N \quad (8)$$

Ahora, hay que compararlo con el peso del objeto, que está dado por:

$$F_{Boya} = Masa * Gravedad \quad (9)$$

La masa del prototipo es de 0.58lb, equivalente a 0.26kg. Entonces, el peso es el siguiente:

$$W_{Boya} = 0.26kg * 9.81 \frac{N}{kg} = 2.55N \quad (10)$$

Usando la ecuación de flotabilidad, es fácil encontrar la fuerza que empuja a un objeto hacia arriba y hacia afuera del fluido en el que está sumergido. Si la flotabilidad es mayor que la fuerza de gravedad, el objeto flotará. Por otro lado, si la fuerza de gravedad es mayor, se hundirá. Si son iguales, se dice que el objeto es neutralmente flotante. Como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Flotabilidad > Peso \quad (11)$$

Se puede notar que la la fuerza de flotabilidad es mayor al peso de la boya, por lo tanto, la boya se mantendrá flotando, cumpliendo con el requisito para funcionar en el lago.

18.1.2. Elaboración del sistema final

Luego del diseño nuevo, se imprimió la parte superior. Como recomendación para sellar los poros que pudieron quedar luego de la impresión, se aplicaron capas de cianocrilato. También se le añadieron flotadores alrededor para proveer una mejor estabilidad y lograr los resultados esperados en las pruebas. El resultado se muestra en la Figura a continuación:



Figura 98: Diseño del sistema final impreso con flotadores

Posteriormente se añadieron los sensores, y estos se sellaron con cola impermeable, para evitar la entrada de agua a través de la parte inferior de la boya. Esto se muestra en la Figura [99](#):

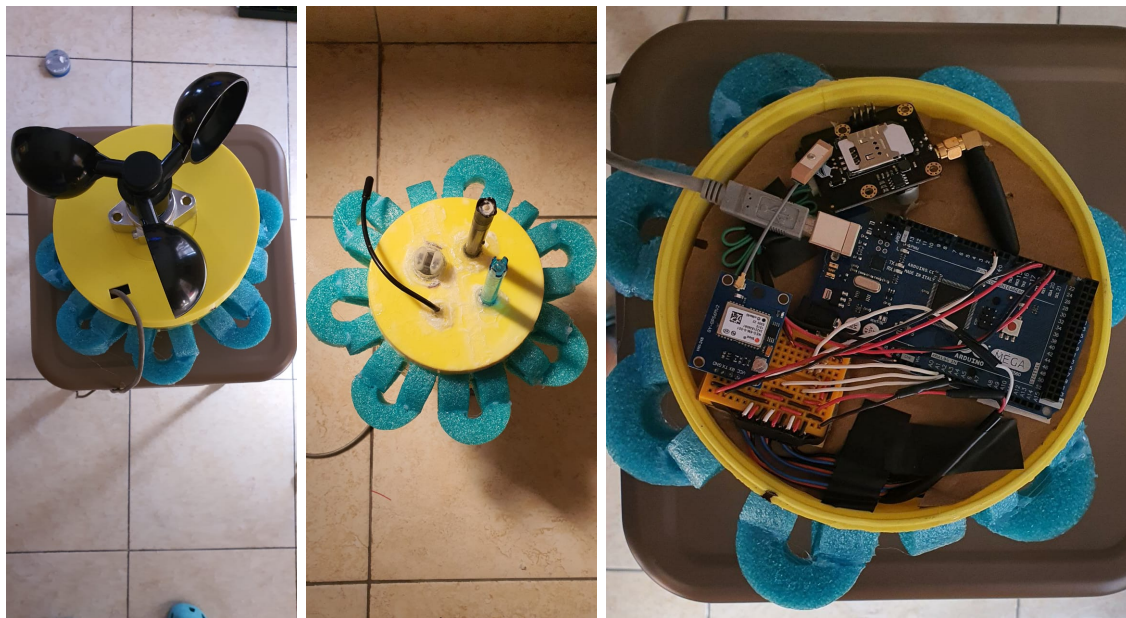


Figura 99: Vista exterior e interior del sistema final con sensores integrados

18.2. Pruebas del sistema final

Para el sistema final, se hicieron diferentes pruebas en escenarios parecidos al cuarto prototipo. Estos escenarios se presentarán a continuación. Cabe mencionar que para realizar las pruebas se tenían dos recipientes, esto para ir controlando y verificando que los valores de los sensores fueran cambiando.

18.2.1. Escenario de control (agua potable, sin aire)

Para esta prueba se colocó la boya en agua potable, en condiciones ideales, sin aire, agua limpia y a temperatura ambiente, etc. Este se muestra en la Figura 100:



Figura 100: Boya colocada en escenario de control

Luego, se envió el mensaje al módulo GSM de la boya, recibiendo los siguientes datos:

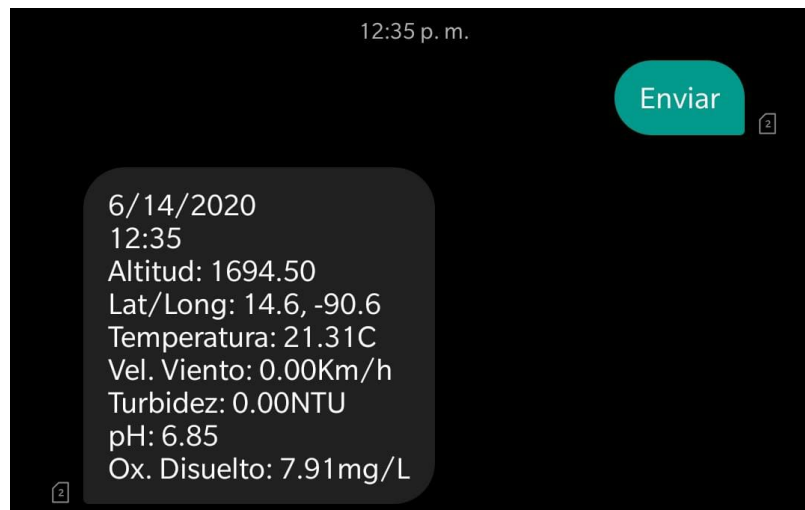


Figura 101: Resultados de boya colocada en escenario de control

Los resultados obtenidos fueron los esperados, demostrando la funcionalidad del sistema final en el primer escenario.

18.2.2. Escenario con Pepsi Cola

Para esta prueba se colocó la boya en agua potable y se le añadió Pepsi Cola. Este se muestra en la Figura 102:



Figura 102: Boya colocada en escenario con Pepsi Cola

Luego, se envió el mensaje al módulo GSM de la boya, para recibir los datos actuales de los sensores, recibiendo los que se muestran a continuación:

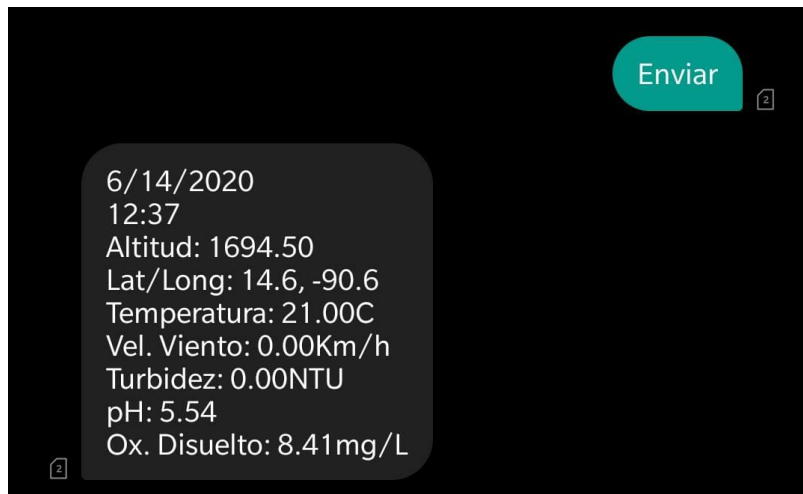


Figura 103: Resultados de boya colocada en escenario con Pepsi Cola

Los resultados obtenidos fueron los esperados, el nivel de oxígeno disuelto cambió por el agua gaseosa, también la temperatura, debido a que estaba un poco más fría de temperatura ambiente. Con esto, queda demostrada la funcionalidad del sistema final en el segundo escenario.

18.2.3. Escenario con Pepsi Cola y hielo

Para esta prueba se colocó la boya en agua potable, se le añadió Pepsi Cola y hielo. Este se muestra en la Figura 104:



Figura 104: Boya colocada en escenario con Pepsi Cola y hielo

Luego, se envió el mensaje al módulo GSM de la boya, para recibir los datos actuales de los sensores, en los que se esperaba un cambio de temperatura por el hielo. Los datos recibidos se muestran a continuación:



Figura 105: Resultados de boya colocada en escenario con Pepsi Cola y hielo

Los resultados obtenidos fueron los esperados. Demostrando la funcionalidad del sistema final en el tercer escenario.

18.2.4. Escenario con café disuelto

Para esta prueba se colocó la boya en agua potable, se le añadió café y se trató de disolver el café formando un líquido más turbio. Este se muestra en la Figura 106:



Figura 106: Boya colocada en escenario con café

En este escenario, se esperaba el cambio en el nivel de turbidez debido a la composición del café. Por tanto, se envió el mensaje al módulo GSM de la boya, para corroborarlo. Los datos recibidos se muestran a continuación:

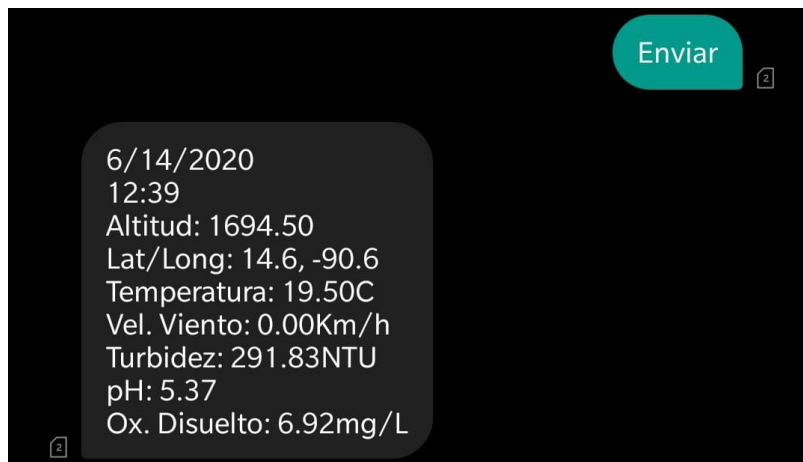


Figura 107: Resultados de boya colocada en escenario con café

Los resultados obtenidos fueron los esperados, incrementó el nivel de turbidez debido al café. Demostrando la funcionalidad del sistema final en el cuarto escenario.

18.2.5. Escenario con café y aire

Para esta prueba se colocó la boya en el escenario anterior, aplicándole aire con una secadora de pelo. Este se muestra en la Figura 108:



Figura 108: Boya colocada en escenario con café y aire

En este escenario, se esperaba un cambio en la velocidad del sensor de viento, por el aire que se estaba aplicando. Se envió el mensaje para recibir los datos de los sensores y se muestran a continuación:

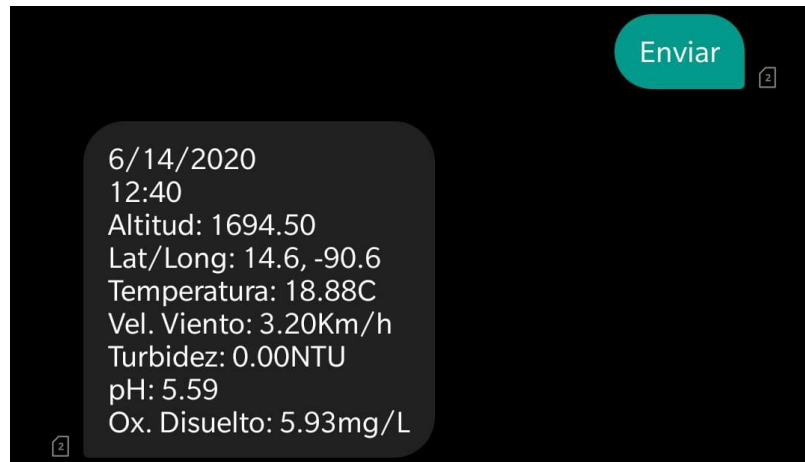


Figura 109: Resultados de boya colocada en escenario con café y aire

Los resultados obtenidos fueron los esperados, se ve el cambio de velocidad de viento por el aire aplicado. Se puede ver que el nivel de turbidez cambio, pero esto se debe a que al no ser una mezcla homogénea, el café después de la primera prueba quedó flotando sobre la superficie, por tanto el nivel de turbidez cambió. La boya demostró su funcionalidad en el quinto escenario.

18.2.6. Escenario de control con aire

Para esta prueba se colocó la boya nuevamente en el primer escenario pero se le aplicó aire con la secadora. Este se muestra en la Figura 110:



Figura 110: Boya colocada en escenario de control con aire

En este escenario, se esperaba un cambio de temperatura por el agua, un cambio en la velocidad del viento y el pH regresar al nivel normal del agua. Los datos recibidos se muestran a continuación:



Figura 111: Resultados de boya colocada en escenario de control con aire

Como se puede observar, los datos obtenidos fueron nuevamente correctos. El nivel de pH se trató de estabilizar al valor del agua e incrementó la velocidad del sensor de viento. Con esta prueba se afirma la funcionalidad correcta de la boya en distintos escenarios.

18.3. Cotización del sistema final

Para realizar la boya, se propuso realizar impresiones 3D de cada parte de la misma, logrando así una boya de bajo costo y que cumpliera con los objetivos. Como se mencionó anteriormente, se diseñó con el material PC/ABS PLASTIC, este mismo es el que utilizan algunas impresoras 3D, con dicho material se lograría cumplir con el peso y el volumen establecidos por el diseño.

En Guatemala existen diferentes empresas de impresión 3D, y las siguientes fueron las que se consultaron para realizar la impresión 3D:

- M3DF
- TEC
- Guat3dprint
- Garage 3D Print
- Persona independiente

En las cuales se obtuvieron las cotizaciones para cada parte:

Empresa	Precio parte inferior (Q)	Precio parte superior (Q)	Precio total (Q)
M3DF	450.00	340.00	990.00
TEC	700.00	440.00	1,140.00
Guat3dprint	375.00	300.00	675.00
Garage 3D Print	400.00	325.00	725.00
Persona independiente	300.00	250.00	550.00

Tabla 25: Precios cotizados

Los precios variaban y dependían mucho del porcentaje de relleno, en el TEC por ejemplo, el porcentaje de relleno era más bajo, por lo tanto tomaba un poco más de tiempo y la fabricación era con mayor detalle. Algunas empresas por esto mismo recomendaron el uso de varias capas de *Cianocrilato*, para poder sellar cualquier micro agujero y que perjudicara el funcionamiento de la boya.

Posterior a la cotización de la impresión 3D, se realizó una cotización de los sensores también, para poder obtener el precio final de la boya, estos son los siguientes:

Sensor	DFRobot (Q)	Mouser (Q)
Temperatura	145.00	152.00
Velocidad	425.50	429.00
Turbidez	66.30	77.22
pH	200.00	200.00
Oxígeno disuelto	1,218.20	1,218.20
GSM	152.00	156.01
TOTAL	2207.00	2232.43

Tabla 26: Precios cotizados de sensores utilizados

Cabe mencionar que aparte de estos precios, hay que pagar el envío a Guatemala. Para esto se realizó la cotización aproximada en la empresa **CPX** y fue la siguiente:

Sensor	Envío (Q)
Temperatura	100.00
Velocidad	120.00
Turbidez	75.00
pH	95.00
Oxígeno disuelto	300.00
GSM	100.00
TOTAL	790.00

Tabla 27: Precios cotizados en CPX para envío a Guatemala

Como último paso, algunos artículos necesarios se pueden conseguir en Guatemala, costando alrededor de Q300, como se muestra en la siguiente Tabla:

Artículo	Precio (Q)
Arduino Mega	180.00
GPS Neo6MV2	120.00

Luego de realizar las cotizaciones de la boya multisensorial creada, el precio total aproximado es alrededor de Q3850.00, si los sensores se mandan a traer juntos, el precio podría reducirse un poco. Esta cotización se muestra en la Tabla [28](#):

Razón	Precio (Q)
Sensores, módulos y Arduino	2507.00
Importación	790.00
Impresión 3D	550.00
TOTAL	3847.00

Tabla 28: Cotización final de la boya construida

18.4. Comparación de precios con otras boyas

En la sección de cotización, esta boya cuesta alrededor de Q4000.00. Comparando este precio con otras boyas encontradas:

- SouthTEK Nomad
- EdgeLab
- SignalGenerix

Boya	Precio (Q)
SouthTEK	6,435.96
Edge Lab	9,360.00
SignalGenerix	Recaudado 7.1M de Euros

Tabla 29: Precio de otras boyas

[33](#) [34](#) [35](#)

El proyecto de SignalGenerix está en proceso de recaudación de dinero para poder generar las boyas en masa, no han revelado el precio actual. También se investigaron los precios de las boyas en antecedentes, pero la información no está disponible.

Con los precios encontrados, hemos obtenido una boya a mitad de precio comparado con el de SouthTek y con funciones específicas para el lago de Atitlán, con sensores capaces de medir propiedades que han sido causantes de la proliferación de la cianobacteria.

Según el trabajo realizado, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Se integró una red de sensores, comprendida por sensor de turbidez, sensor de temperatura, sensor de potencial de hidrógeno, sensor de velocidad del aire y sensor de oxígeno disuelto, la cual nos permite una toma de datos constante para el monitoreo de aguas.
- Se implementó el módulo GSM GPRS, el cuál envía los datos captados por los sensores en tiempo real, hacia la base de recepción.
- Se diseñó y se creó una plataforma estable y duradera, con la capacidad de contener los módulos y sensores de forma segura.
- La red de sensores, al ser sometidos a las condiciones en las que según la bibliografía, se encuentra el lago de Atitlán, confirmaron su funcionamiento.
- Se estableció, por medio de bibliografías, un rango específico en donde las variables de temperatura, potencial de hidrógeno, turbidez, velocidad del aire y oxígeno, sean capaces de determinar una posible área vulnerable a la proliferación de la cianobacteria.
- El costo de la boya diseñada y creada, es casi un 60 por ciento más económica que la boya de EdgeLab y un 40 por ciento más económica que la boya de SouthTEK.
- El material PLA de la impresión 3D sellada con cianocrilato y silicón, resultó ser resistente e impermeable para los escenarios que fueron sometidos.

Después de lograr los objetivos para realizar una boya multisensorial, existen diferentes recomendaciones que podrían proveer una constante mejora en el funcionamiento del proyecto:

- Si se desea elaborar este prototipo en grandes cantidades, es recomendable comprar una impresora 3D Ender 3 Pro, esta impresora puede imprimir la boya con la calidad necesaria y tiene un costo aproximado de Q3000 y el material de la impresora es PLA, que tiene un costo aproximado de Q250 el kilogramo, en el prototipo se utilizaron 350 gramos por lo tanto un kilogramo podría imprimir casi tres boyas, bajando el costo de una manera significativa.
- Para mayor organización del cableado de los sensores, se recomienda el diseño y fabricación de una placa PCB.
- Se recomienda adaptar una batería a la boya para lograr un funcionamiento autónomo, podría recargarse con paneles solar para aprovechar al máximo las condiciones del lago de Atitlán.
- Se recomienda tener entrevistas con personas expertas en el tema de la cianobacteria en el lago de Atitlán, ya que fue muy difícil encontrar bibliografías confiables.

-
- [1] C. Albaladejo, F. Soto, R. Torres, P. Sanchez y J. López, “A Low-Cost Sensor Buoy System for Monitoring Shallow Marine Environments”, *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 12, págs. 9613-34, dic. de 2012. DOI: [10.3390/s120709613](https://doi.org/10.3390/s120709613).
 - [2] J. Morón, L. Nieto y R. El-Shehawy, “CIANOALERT: Alerta Inteligente contra las floraciones nocivas de cianobacterias”, *iagua*, sep. de 2017. dirección: <https://www.iagua.es/noticias/espana/instituto-imdea-agua/17/09/06/cianoalert-alerta-inteligente-floraciones-nocivas>.
 - [3] L. SONIC, “Control y monitoreo de algas con el MPC-Buoy”, *Control y monitoreo de algas con el MPC-Buoy*, 2015, The Netherlands.
 - [4] J. N. Boyer, C. R. Kelble, P. B. Ortner y D. T. Rudnick, *Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA*, 2009.
 - [5] J. P. N. Geneviève M. Carr, *Water Quality for Ecosystem and Human Health*, 2nd edition. 2008, pág. 120, Canada.
 - [6] OMS, *Guías para la calidad del agua potable*, Tercera. 2006, vol. 1, Suiza. dirección: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full1_lowres.pdf.
 - [7] “Utilización de electrodos de membrana en la determinación de oxígeno disuelto y nitrógeno amoniacal en aguas residuales”, *CENIC (Ciencias Químicas)*, vol. 26, 1995.
 - [8] C. N. Sawyer, P. L. McCarty y G. F. Parkin, *Chemistry for environmental engineering and science*. McGraw-Hill, 2007, Boston, MA.
 - [9] C. W. Boards, *Water Quality Standards*, California, 2016. dirección: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/water_quality/.
 - [10] “Atacan tres tipos cianobacteria al Lago de Atitlán”, *Prensa Libre*, ago. de 2015. dirección: <https://www.prensalibre.com/ciudades/solola/atacan-tres-tipos-de-cianobacteria-al-lago-de-atitlan/>.
 - [11] “INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL”, *AMSCLAE*, dirección: <http://www.amsclae.gob.gt/investigacion-y-calidad-ambiental/>.

- [12] D. A. Anabella Aguilera María Amé, *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud*, 2da. Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2017, Buenos Aires.
- [13] L. G. Massiel Rivera, *IDENTIFICACIÓN DE CIANOBACTERIAS POTENCIALMENTE PRODUCTORAS DE CIANOTOXINAS*. Universidad de Caldas, 2010.
- [14] L. Taiz y E. Zeiger, *Fisiología vegetal*. Artmed, 2013, vol. 1, Porto Alegre.
- [15] AMSCLAE, *INFORME "MONITOREO LIMNOLÓGICO 2019"*, Guatemala.
- [16] J. O. Puig, *Teoría del buque: flotabilidad y estabilidad*. UPC, 1995, Barcelona.
- [17] F. M. White, *Mecánica de fluidos*. MacGraw-Hill, 2010, Madrid.
- [18] S. F. Barrett, *Arduino microcontroller processing for everyone!* Morgan Claypool, 2013, San Rafael, California (1537 Fourth Street, San Rafael, CA 94901 USA).
- [19] "Sim800l Hardware Design", vol. 1, 2013. dirección: https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_SIM800L.pdf.
- [20] "NEO-6 u-blox 6 GPS Modules", vol. 1, 2011. dirección: https://www.iot-lab.info/wp-content/uploads/2013/10/GPS_MAX6.pdf.
- [21] DFRobot, *Gravity UART A6 GSM GPRS Module SKU TEL0113*. dirección: https://wiki.dfrobot.com/Gravity__UART_A6_GSM_&_GPRS_Module_SKU__TEL011FR.
- [22] A. Quitaquis y M. Elizabeth, "Estudio de la Comunicación con Comandos AT y Microcontroladores. Caso Practico: Implementación de un Prototipo Sistema de Gestión de Alarma para Viviendas con Monitoreo Mediante Telefonía Celular", B.S. thesis, 2010.
- [23] DFRobot, "Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor", vol. 2, 2017. dirección: https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Dissolved_Oxygen_Sensor_SKU_SEN0237.
- [24] "Waterproof DS18B20 Digital Temperature Sensor", vol. 1, 2017. dirección: <https://create.arduino.cc/projecthub/TheGadgetBoy/ds18b20-digital-temperature-sensor-and-arduino-9cc806>.
- [25] "Turbidity Sensor SKU: SEN0189", vol. 2, 2016. dirección: https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189.
- [26] "Gravity: Analog pH Sensor/Meter Kit V2 SKU: SEN0161 - V2", vol. 2, 2018. dirección: https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU__SEN0161_.
- [27] J. Satchwell, *Como funciona la energia*. Everest, 1982, Madrid.
- [28] N. T. Incorporated, *Arctic Wind Speed Sensor*. 2010, Ohio.
- [29] I. N. D. E. INE, *COMPENDIO ESTADÍSTICO AMBIENTAL 2015*. INE, 2015, Guatemala, Guatemala. DOI: <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/12/12/akJPkymTlGr1QQoommBxUNXhZ9Qhwph.pdf>.
- [30] G. R. Ochaeta Constanza, "Análisis temporal y espacial de la comunidad de fitoplancton en los puntos Panajachel, Cetro Weiss G y Santiago en el lago de Atitlán, Sololá, Guatemala, durante el año 2013.", Guatemala, Tesis doct., USAC, 2014, págs. 1-78.
- [31] D. P. Steen y P. R. Ashurst, *Carbonated soft drinks: formulation and manufacture*. Blackwell Publishing, 2006, pág. 20, Oxford.
- [32] *Consejería de agricultura, pesca y Desarrollo Rural*. 2016, Sevilla.

- [33] *Smart Buoys for Marine Environment Monitoring: The Case of MARIABOX Project.* dirección: https://www.ferrybox.org/imperia/md/images/hzg/institut_fuer_kuestenforschung/koi/ferrybox/theodosiou_et_al.pdf.
- [34] *EdgesmartBuoy.* dirección: <http://www.edgelab.eu/our-products/oceanography-monitoring-buoys/edge-smart-buoy>.
- [35] *Hybrid Nomadt.* dirección: <http://www.southteksl.com/index.php/products/hybrid-nomad>.

