

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL CONTROL DE ALGAS EN AGUAS DE
EMBALSE MEDIANTE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**

**AUTORES:
JOHN FREDDY ALMACHE PÉREZ
EDWIN XAVIER ANDRANGO CHISAGUANO**

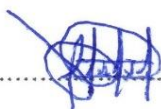
**TUTOR:
CARLOS AUGUSTO CUICHÁN MORALES**

Quito, enero del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, John Freddy Almache Pérez y Edwin Xavier Andrango Chisaguano, con documentos de identificación N° 172550716-2 y N° 050288231-9, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL CONTROL DE ALGAS EN AGUAS DE EMBALSE MEDIANTE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: John Freddy Almache Pérez
Cédula: 172550716-2



Nombre: Edwin Xavier Andrango Chisaguano
Cédula: 050288231-9

Fecha: Quito, enero 2020.

DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL CONTROL DE ALGAS EN AGUAS DE EMBALSE MEDIANTE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS”, realizado por John Freddy Almache Pérez y Edwin Xavier Andrango Chisaguano, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero 2020



.....
Carlos Augusto Cuichán Morales
Cédula de Identidad: 171438972-1

DEDICATORIA

Dedico el presente Proyecto Técnico a mis padres Segundo Alfredo Almache y María de Lourdes Pérez por todo el apoyo prestado e incondicional a lo largo de toda mi vida, a mis hermanos Edwin Almache, Mauricio Almache y Pablo Almache por ser mis ejemplos a seguir en todos los días de mi vida y por último a dios por permitirme nacer en una familia tan incondicional.

John Freddy Almache Pérez.

El presente trabajo desarrollado se lo dedico primeramente a Dios, a mi madre Enma Piedad Chisaguano, a mi padre Luis Gerardo Andrango, a mi bebe que viene en camino mi Leonel Andrango, a mis hermanos Evelin y Alexander Andrango, a mis familiares por el apoyo brindado día a tras día y me enseñaron a ser una persona responsable y de principios, sin ellos no hubieran logrado este gran triunfo.

Edwin Xavier Andrango Chisaguano.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios y a la Virgen de Guadalupe por tener salud, vida y fuerza para cumplir todas mis metas y sueños deseados, a mi padre Segundo Alfredo Almache por todo el apoyo y sacrificio incondicional a mi persona, a mi madre María de Lourdes Pérez por siempre estar conmigo apoyándome, cuidándome y enseñarme a valorar a la familia.

A mis hermanos Edwin, Mauricio y Pablo por ser ejemplos a seguir ya que por su ejemplo logre superar muchos obstáculos en mi vida.

Al Ingeniero Carlos Augusto Cuichán Morales por los conocimientos y ayuda impartida para el desarrollo del presente proyecto de titulación.

A la Universidad Politécnica Salesiana por todos los años de aprendizaje y la ayuda prestada para culminar con éxito mi formación académica.

John Freddy Almache Pérez.

Agradezco en primer lugar a Dios, a la Virgen Del Quinche, por darme la fortaleza, la fuerza para superar los obstáculos que se presentaron en el transcurso de mi vida, agradezco a mis padres Luis y Piedad ya que ellos siempre estuvieron a mi lado apoyándome y levantándome de las caídas que se presentaron en mi vida, agradezco a mi fortaleza durante mi carrera Pamela Ugeño, agradezco a mi familia, ya que gracias a sus consejos, recomendaciones me guiaban para ser una persona de bien y así lograr culminar mi meta propuesta, agradezco al Ingeniero Carlos Augusto Cuichán Morales por el apoyo brindado tanto en mi formación académica y al desarrollo del presente proyecto, agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por acogerme en su noble institución y guiarme académicamente e inculcarme valores para ser un profesional de bien.

Edwin Xavier Andrango Chisaguano.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Metodología.....	3
CAPÍTULO 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1. Métodos utilizados para el control de cianobacterias y algas verdes	4
2.1.1. Químicos	4
2.1.2. Aireación	6
2.1.3. Mezcladores	7
2.1.4. Ultrasonido.....	8
2.2. Influencia de las ondas electromagnéticas en la reducción de la viabilidad de los organismos Procarióticos.....	10
2.3. Influencia de las ondas electromagnéticas sobre el agua	12
2.4. Parámetros a considerar para la eliminación de algas en aguas de embalse	14
2.4.1. Algas verde-azuladas (Cianobacterias).....	14
2.4.2. Algas verdes	14
2.4.3. Algas verdes y Cianobacterias (Causas de la aparición).....	15
2.4.4. Algas verdes y Cianobacterias (eliminación de algas).....	16
CAPÍTULO 3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	19
3.1. Bloques y Módulos empleados para el diseño de la propuesta	19

3.1.1.	Diagrama esquemático del prototipo	19
3.1.2.	Bloque de Fuentes de poder	20
3.1.3.	Bloque de control	20
3.1.4.	Bloque de acoplamiento	20
3.1.5.	Bloque de potencia	21
3.1.6.	Elementos principales utilizados en el prototipo	21
3.2.	Componentes electrónicos empleados en los módulos con su implementación	22
3.2.1.	Fuentes de poder	22
3.2.2.	Etapas de control	23
3.2.3.	Etapas de potencia	27
3.3.	Circuito final del prototipo	29
3.3.1.	Implementación de todos los bloques con la estructura principal	30
3.4.	Costos de implementación del prototipo	32
CAPÍTULO 4 PRUEBAS Y RESULTADOS		33
4.1.	Escenario de pruebas	33
4.1.1.	Toma de muestras	33
4.1.2.	Preparación de la muestra	33
4.1.3.	Condiciones para el uso del electroimán	34
4.1.4.	Pruebas realizadas	35
4.1.5.	Parámetros a considerar	36
4.2.	Resultados obtenidos del tratamiento de algas	38
4.3.	Análisis de resultados	49
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		57
BIBLIOGRAFÍA		58

ANEXOS61

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Productos químicos utilizados en el agua como el cloro, sulfato de cobre y permanganato potásico.....	4
Figura 2.2. Inyección de aire.....	7
Figura 2.3. Turbina.....	8
Figura 2.4. Dispositivo generador de ultrasonido.	9
Figura 2.5. Circuito implementado para la reducción de la viabilidad de organismo Procarióticos.....	10
Figura 2.6. Niveles de pH permitidos en el agua.	17
Figura 3.1. Diagrama de bloques del prototipo.....	19
Figura 3.2. Distribución de fuentes.	22
Figura 3.3. Fuente variable de 15 V y Fuente de 5V.	23
Figura 3.4. Configuración de los pulsadores.....	24
Figura 3.5. Conexiones del Sensor Hall.....	24
Figura 3.6. Tarjeta de botones con montaje de los elementos deseados y sensor Hall. ...	25
Figura 3.7. Interfaz gráfica LCD.....	26
Figura 3.8. Circuito de potencia.....	28
Figura 3.9. Tarjeta de potencia y acoplamiento con montaje de los elementos necesarios.	28
Figura 3.10. Estructura metálica acoplado el electroimán y sensor Hall.	29
Figura 3.11. Circuito final.....	30
Figura 3.12. Estructura principal.....	30
Figura 3.13. Equipos utilizados para realizar el control de algas.....	32
Figura 4.1. Estanque parque las cuadras.	33
Figura 4.2. Preparación de las muestras.....	34
Figura 4.3. Colocación de la muestra.....	35
Figura 4.4. Tipos de algas Closterium y Euglena.	36
Figura 4.5. Alga Eudorina.....	37
Figura 4.6. Cianobacterias.....	37
Figura 4.7. Característica de agrupación.....	38

Figura 4.8. Característica de cambio de forma.	39
Figura 4.9. Característica de decoloración.....	39
Figura 4.10. Característica de movimiento.	40
Figura 4.11. Característica de recuperación.....	40
Figura 4.12. Característica de explosión.....	41
Figura 4.13. Característica de lesión.	48
Figura 4.14. Característica de lesión y vaciado del núcleo.....	48
Figura 4.15. Muerte y liberación de toxinas.	49
Figura 4.16. Tratamiento inicial y final a 1000 Hz.....	50
Figura 4.17. Tratamiento inicial y final a 2000 Hz.....	50
Figura 4.18. Algas Euglenas y Closteriums a un tratamiento de 2 horas y Algas Euglenas y Closteriums a un tratamiento de 3 horas.....	51
Figura 4.19. Tratamiento a 20 horas.	52
Figura 4.20. Comparación de colonia de cianobacterias a distintas frecuencias.	53
Figura 4.21. Eudorina explotada liberando su contenido interno.	53
Figura 4.22. Eudorinas con lesión y vaciado del núcleo.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Resultados de unidades formadoras de colonias (CFU) de las muestras de <i>Deinococcus Radiodurans</i> (1700).	11
Tabla 2.2. Resultados de unidades formadoras de colonias (CFU) de las muestras de <i>Enterobacter aerogenes</i> (2531).	11
Tabla 2.3. Resultado de diferentes muestras para el control de <i>Escherichia Coli</i>	13
Tabla 3.1. Elementos o Equipos utilizados en el prototipo con su función principal.	21
Tabla 3.2. Conexiones de Arduino a LCD. Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.	26
Tabla 3.3. Costos de implementación.	32
Tabla 4.1. Características de las frecuencias.	38
Tabla 4.2. Algas a tratar <i>Euglenas</i> y <i>Closterium</i> estado inicial.	41
Tabla 4.3. Algas tratadas <i>Euglenas</i> a T=30 minutos.	42
Tabla 4.4. Algas tratadas <i>Euglenas</i> a T= 1 hora.	42
Tabla 4.5. Algas tratadas <i>Euglenas</i> a T= 1 hora y 30 minutos.	43
Tabla 4.6. Algas tratadas <i>Euglenas</i> a T= 2 horas.	43
Tabla 4.7. Algas tratadas <i>Euglenas</i> a T= 2 horas y 30 minutos.	44
Tabla 4.8. Algas tratadas <i>Euglenas</i> a T= 3 horas.	44
Tabla 4.9. Algas tratadas <i>Closterium</i> a T= 30 minutos.	45
Tabla 4.10. Algas tratadas <i>Closterium</i> a T= 1 hora.	45
Tabla 4.11. Algas tratadas <i>Closterium</i> a T= 1 hora y 30 minutos.	46
Tabla 4.12. Algas tratadas <i>Closterium</i> a T= 2 horas.	46
Tabla 4.13. Algas tratadas <i>Closterium</i> a T= 2 horas y 30 minutos.	47
Tabla 4.14. Algas tratadas <i>Closterium</i> a T= 3 horas.	47
Tabla 4.15. Tratamiento de <i>Eudorinas</i> y cianobacterias a T= 20 horas.	49

RESUMEN

En sistemas de almacenamiento de agua ya sea para potabilización, creación de lagos artificiales, peceras y demás aplicaciones se tiene un gran problema por la proliferación de algas y cianobacterias provocadas por la acumulación de nitratos y fosfatos por lo que el agua pierde su calidad, toma un aspecto desagradable emanando malos olores y color desagradable.

Mediante este trabajo de titulación se aborda una forma alternativa de combatir el problema de algas y cianobacterias presentes en el agua de embalse empleando ondas electromagnéticas con frecuencia variable, para lo cual, se crea un prototipo que permite generar un campo magnético variable con una frecuencia de 30 Hz hasta 10 KHz, este campo se somete directamente a muestras de agua contaminada con algas verdes y cianobacterias, observando que a una frecuencia de 1000 Hz y un tiempo de 3 horas para algas de tipo Euglenas y Closteriums y 20 horas para cianobacterias y algas Eudorinas, se obtienen resultados positivos como la pérdida de movimiento, cambio de forma y explosión de los microorganismos, en el caso de las cianobacterias se puede observar la desintegración y decoloración de la colonia bacteriana, además microscópicamente se puede observar que las algas de tipo Euglenas, Closteriums y Eudorina explotan liberando su contenido interno.

ABSTRACT

In water storage systems, whether for purification, creation of artificial lakes, fish tanks and other applications, there is a great problem due to the proliferation of algae and cyanobacteria caused by the accumulation of nitrates and phosphates so that water loses its quality, it takes an unpleasant appearance emanating bad smells and unpleasant color.

Through this titration work, an alternative way to combat the problem of algae and cyanobacteria present in the reservoir water using electromagnetic waves with variable frequency is sought, a prototype is created which allows a variable magnetic field to be generated with a frequency of 30Hz up to 10Khz, this field is directly subjected to samples of water contaminated with green algae and cyanobacteria, observing that at a frequency of 1000Hz and a time of 3 hours for Euglenas and Closteriums type algae and 20 hours for Eudorine cyanobacteria and algae, results are obtained positive, such as loss of movement, change of shape and explosion of microorganisms, in the case of cyanobacteria, the disintegration and discoloration of the bacterial colony can be observed, it can also be observed microscopically that the algae of the Euglenas, Closteriums and Eudorina type explode releasing its internal content, is therefore that the conclusion is reached ion that algae and cyanobacteria die.

INTRODUCCIÓN

En el presente análisis experimental se desea analizar cuáles son los efectos de las ondas electromagnéticas en las algas que crecen en las aguas de embalse, para lo cual se desarrolla un prototipo electrónico de frecuencia variable el cual cumple la función de controlar y reducir las algas en aguas de embalse, con este análisis se desea desarrollar un nuevo recurso alternativo al uso de los métodos conocidos, los cuales son utilizados en el agua de embalse dado que las algas en gran cantidad pueden contaminar el agua, por lo cual puede afectar a cualquier ser vivo que la consuma.

La estructura del presente documento se detalla a continuación:

Capítulo 1: En este capítulo se establece cual es el planteamiento del problema con su justificación y con los objetivos que se desea cumplir en este análisis experimental.

Capítulo 2: En este capítulo se presenta la fundamentación teórica para realizar el análisis experimental, como los métodos utilizados para el control de algas, influencia de las ondas electromagnéticas en el agua y parámetros a considerar para la eliminación de algas.

Capítulo 3: En el presente capítulo se diseña e implementa todos los bloques y módulos necesarios para realizar el desarrollo del prototipo electrónico de frecuencia variable, la función que cumple cada uno, componentes electrónicos empleados en cada uno, la conectividad que tienen entre ellos y de los costos de implementación.

Capítulo 4: En este último capítulo se presentan las pruebas y resultados obtenidos donde se determinó dos escenarios de prueba, el primer escenario se toma en cuenta a las algas verdes Euglenas y Closteriums las cuales se sometieron a las ondas electromagnéticas por un tiempo de 3 horas, el segundo escenario se toma en cuenta a las cianobacterias y algas Eudorinas las cuales se sometieron a las ondas electromagnéticas por un tiempo de 20 horas, donde la frecuencia de 1 KHz se obtuvo los mejores resultados ya que las algas en esta frecuencia presentan las características de pérdida de movimiento, deformación, decoloración y explosión.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1. Planteamiento del Problema

Los dispositivos que emiten ondas electromagnéticas por lo general se los puede encontrar principalmente en los sistemas de telecomunicaciones, los cuales son empleados para poder transmitir información a través del espectro radioeléctrico, por lo tanto son muy conocidas y utilizadas a nivel internacional ya que el uso de las telecomunicaciones se ha vuelto una parte fundamental del buen vivir del ser humano, por esta razón al ser muy conocidas a nivel internacional algunos investigadores buscan nuevas formas de utilizar las ondas electromagnéticas que no sea solo para las telecomunicaciones, en la actualidad las ondas electromagnéticas no solo se usan para las telecomunicaciones se ha demostrado que estas tienen un gran uso para el control y eliminación de varios tipos de colonias de bacterias que pueden afectar alguna planta, animal o el agua.

Este tipo de tecnología aún no se ha probado de forma directa en colonia de algas verde-azuladas y algas verdes para reducir y controlar la colonia de algas, se desea controlar estas ya que prácticamente en todos los sitios en los que se almacena agua se pueden producir problemas con las algas. Cuando el agua está estancada, tiene una temperatura elevada o una concentración elevada de nitratos y fosfatos, lo cual lleva a la eutrofización del agua la cual puede producir una proliferación de las algas que puede originar diversos problemas, por tal motivo se plantea el presente proyecto técnico el cual tiene como objetivo realizar un análisis experimental del efecto de las ondas electromagnéticas en la reducción y control de las colonias de algas verdes y cianobacterias presentes en aguas de embalses con ayuda de un prototipo que emita ondas electromagnéticas de frecuencia variable para realizar dicho análisis.

1.2. Justificación

El presente proyecto técnico está enfocado a la reducción y control de la población de algas verde-azuladas(cianobacterias) y algas verdes en aguas de embalse, debido a que el agua tiene un nivel básico de algas, pero estas son parte de la ecología normal que se tiene

en el agua los cuales también son importantes para mantener un equilibrio ecológico, pero cuando existe un crecimiento excesivo de las algas pueden provocar una alteración en el balance ecológico la cual provoca la proliferación en exceso de las algas, lo cual conlleva a la pérdida de la calidad del agua que produce mal olor, un sabor desagradable, color verdoso del agua, reducción de los niveles de oxígeno disuelto que pueden generar toxinas que son peligrosas para la salud tanto de plantas y animales que depende del agua. (Gomez, 2015)

Las ondas electromagnéticas, debido a su amplio espectro admite diversas aplicaciones en campos como telecomunicaciones, medicina, tecnología, agricultura, etc. La aplicación de ondas electromagnéticas en el control de algas consiste en la exposición de muestras de agua a radiación controlada, para el control y eliminación de bacterias o cianobacterias que ocasionan la eutrofización del agua, como alternativa viable para evitar el uso de productos químicos como el cloro entre otros ya que estos poseen un impacto negativo con organismos vivos que son beneficiosos en mantener la calidad del agua. (Ruiz-Reyes, 2015)

Por todo lo expuesto anteriormente se hace necesario realizar un análisis experimental de la reducción y control de la población de algas verde-azuladas y algas verdes en aguas de embalses mediante el uso de ondas electromagnéticas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar el uso de ondas electromagnéticas para el control y disminución de la población de algas verde-azuladas (cianobacterias) y algas verdes en el agua de embalse.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar estudios y métodos existentes para la eliminación y control de algas en aguas de embalse para la determinación de los parámetros necesarios que debe tener la onda electromagnética.

- Diseñar un prototipo que genere las ondas electromagnéticas necesarias para el control y disminución de algas en aguas de embalse.
- Implementar un prototipo que genere ondas electromagnéticas de frecuencia variable para el análisis del comportamiento de la población de las algas.
- Analizar los resultados obtenidos para la determinación del control y disminución de la población de algas.

1.4. Metodología

Para la realización del presente proyecto se procederá al uso de la metodología de investigación que se detalla a continuación:

- **Método analítico:** Se realiza este método para analizar la bibliografía existente y así poder obtener las condiciones de diseño del dispositivo electrónico de frecuencia variable.
- **Método Experimental:** Se aplica este método, ya que una vez desarrollado el prototipo del dispositivo electrónico se procederá a realizar pruebas en contenedores de agua que han sido afectadas por la proliferación de algas verde-azuladas y algas verdes.
- **Método Inductivo:** Mediante este método se podrá relacionar al presente proyecto con investigaciones previas, para basar la emisión de ondas electromagnéticas en parámetros antes establecidos, que permitan la eliminación de algas en el agua.
- **Método Comparativo:** Con este método se podrá comparar los resultados obtenidos en la experimentación, para así poder determinar si este método es eficiente para la reducción y control de las algas

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Métodos utilizados para el control de cianobacterias y algas verdes

El excesivo crecimiento de algas verdes y cianobacterias (algas verdeazuladas) en los embalses es un problema muy serio ya que estos pueden afectar la calidad del agua en gran medida. Las algas crecen a gran medida en las paredes y en el fondo del embalse, para lograr prevenir las floraciones de algas es muy importante controlar el flujo de nutrientes, como por ejemplo el nitrógeno y fósforo ya que el sobre crecimiento de estos producen una sobrepoblación de algas, para controlar lo antes mencionado se usa comúnmente cuatro métodos los cuales son químicos, aireación, mezcladores y ultrasonido. (iagua, 2019)

2.1.1. Químicos

Uno de los primeros métodos para la controlar y tratar las algas verdes y cianobacterias (algas verdeazuladas) es el uso de aditivos químicos, con la cual se obtienen resultados muy efectivos a corto tiempo para controlarlas. Los productos químicos que son más eficientes y eficaces son el sulfato de cobre, permanganato potásico y la cloración, en la Figura 2.1 se puede ver los componentes químicos utilizados en el agua. (agromatica, 2019)

Figura 2.1. Productos químicos utilizados en el agua como el cloro, sulfato de cobre y permanganato potásico.



Componentes químicos más utilizados para purificar el agua, Fuente: (agromatica, 2019)

a. Uso de sulfato de cobre

Uno de los aditivos químicos más utilizados gracias a su bajo costo, es el sulfato de cobre, el cual es una mezcla de azufre y cobre en distintas concentraciones que ayudan a eliminar el desarrollo de organismos contaminantes. Es muy importante tener un control bien establecido de las dosis tanto de azufre y cobre que se van a utilizar. (agromatica, 2019)

Las dosis recomendadas son las que están entre 0.05 a 4 ppm (mg/L o g/m^3) lo más conveniente es usar $2 g/m^3$, pero cuando dichas algas están muy desarrolladas es recomendable usar una dosis más fuerte entre 4 a $5 g/m^3$ de agua a tratar, dicho sulfato de cobre se debería colocar en recipientes plásticos que tengan agujeros los cuales deberían estar ubicados en la superficie del depósito, para lograr una distribución uniforme del sulfato de cobre. (Sevilla, 2015)

b. Uso de permanganato potásico

El permanganato de potasio es un compuesto oxidante, éste oxida el manganeso y el hierro disuelto para producir óxidos insolubles, también son filtrados. Esta sustancia química se le puede considerar como un sustituto del cloro como un preoxidante para el control total de trihalometanos (TTHMS).” (INEN, 2013)

El permanganato potásico puede eliminar algas, olores, microorganismos entre otros factores que afectan el agua, ya existen en el mercado distintas concentraciones de permanganato potásico los cuales resultan muy efectivos, pero el uso de su dosis depende mucho de la concentración de permanganato potásico, ya que existen al 10% y al 50%. El uso de estas concentraciones va a depender mucho de cuantos litros de agua se desean tratar y cuál es la cantidad existente de contaminantes en el agua que se desea eliminar en el depósito. (iagua, 2019)

c. Uso de cloración

Uno de los métodos más eficaces y aun utilizados para eliminar el crecimiento de algas es la cloración la cual se riega en el agua incorporando hipoclorito sódico o cloro gaseoso, estos son tratamientos preventivos para el crecimiento de las algas. Las dosis

recomendadas de hipoclorito sódico son de 10 a 20 cm^3 por m^3 de agua, esta se aplica en los 10 minutos últimos de cada riego, cuando se aplican dosis de 100 a 200 cm^3 por metro cúbico de agua estas se deben poner cada 10 a 15 días la cual se mantiene por un tiempo de 30 a 60 minutos, para después lavarla, otra forma de cloración es el continuo uso de cloro gaseoso con una dosis de 1 a 2 ppm y también se debe colocar dosis periódicas de 10 a 20 ppm, pero es muy importante que se realice este tratamiento del agua si el hierro es mayor a 0.1 ppm en este caso la cloración debe ser continua. (greenfuels, 2019)

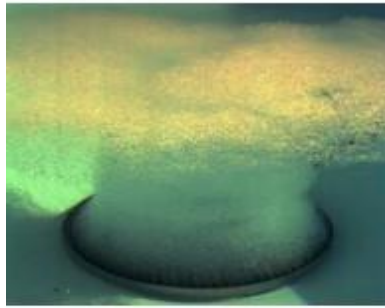
Al usar estas dosis se tiene alta concentración de cloro que pueden causar daños graves en las plantas y animales que la consuman, por lo que es recomendado aplicar estas dosis cuando solo se desea eliminar obstrucciones en los depósitos o si se los filtros del depósitos encuentran tapados luego de solucionar lo antes mencionado, se debe lavar el deposito con agua de presión para eliminar todos los sedimentos. (traxo.sa, 2011)

2.1.2. Aireación

La aireación es uno de los métodos menos contaminantes que existe ya que no utiliza químicos que afecta la composición del agua, este método consiste en la inyección de aire en el fondo de los depósitos de agua o embalses, con el fin de aumentar el oxígeno en el agua. Al utilizar la aireación se crean millones de burbujas pequeñas de aire, las cuales al tratar de subir a la superficie transfieren oxígeno al depósito o embalse de agua, también el flujo que existe por las burbujas de aire producen un movimiento del agua el cual ayuda a la mezcla de todo el volumen del depósito o embalse.

El método de aireación es un método de prevención de crecimiento de algas más no afecta directamente a estas, por lo que si estas ya existen la aireación no las elimina solo evita que crezcan más algas por lo que es un método no tan confiable, en la Figura 2.2 se presenta como se realiza la inyección de aire en el fondo de los depósitos de agua. (oxicom, 2019)

Figura 2.2. Inyección de aire.



Inyección de aire en el fondo de los depósitos de agua, Fuente: (oxicom, 2019)

2.1.3. Mezcladores

Es una técnica muy empleada en pequeños embalses esta es su principal desventaja, también su alto mantenimiento de sus partes mecánicas, es una técnica que garantiza la circulación del agua evitando la concentración de nitritos y fosfatos en partes específicas del agua de embalse y así evita el crecimiento de algas manteniendo la temperatura del agua, sus propiedades y sus minerales. El agua al estar en constante movimiento evita el asentamiento de nutrientes lo cual evita la proliferación de algas y evita la eutrofización del agua por falta de oxígeno. (aquaecosolutions, 2017)

La principal desventaja es que solo se puede emplear en embalses de máximo $10.000 m^3$, lo que hace ideal para uso personal y no para uso a gran escala, también no se puede formar ecosistemas dentro de dicho estanque ya que los mecanismos empleados hacen que la circulación del agua sea demasiado fuerte lo cual no permite crear un ecosistema dentro del embalse, la principal ventaja que tiene este método es la concentración homogénea de nutrientes en el agua tratada con este método ya que esta técnica como su nombre lo indica mezcla tanto la parte inferior como la superior del estanque ayudando así a que los nutrientes estén por todo el cuerpo de agua, en la Figura 2.3 presenta una de las turbinas utilizadas para realizar el método de mezcladores en el agua.

Figura 2.3. Turbina.



Turbina que utiliza el método de mezcladores, Fuente: (aquaecosolutions, 2017)

2.1.4. Ultrasonido

Este método emplea dispositivos electrónicos subacuáticos capaces de generar ondas de ultrasonido a una determinada frecuencia, la cual permite eliminar y controlar la población de algas verdes y algas verdeazuladas conocidas como cianobacterias, el ultrasonido permite crear una capa de presión sónica que se forma en la superficie del agua, lo cual impide que las cianobacterias y algas verdes que se desplazan del fondo del agua hasta la superficie salgan a tomar luz solar y por ende impide realizar la fotosíntesis, esto conlleva a la reducción de la proliferación de la población de algas, al no realizar la fotosíntesis por falta de energía solar las algas empiezan a morir pero su estructura permanece intacta, lo cual ayuda a que no se propaguen las toxinas por la muerte de dichos cuerpos, esta tecnología ayuda que los cuerpos se hundan al fondo de los embalse y se degraden de forma natural por la bacteria presente.

La tecnología de ultrasonido usado por la empresa de LG SONIC se ha puesto a prueba en laboratorios de varias universidades obteniendo como resultado el mantenimiento de la flora y fauna, ya que esta tecnología no provoca la formación de burbujas las cuales ayudan a subir la temperatura del agua, este fenómeno se conoce como cavitación y es provocado por el ultrasonido de alta frecuencia, la subida de temperatura puede provocar la destrucción del ecosistema concentrado en el agua tratada con esta tecnología.

La tecnología de ultrasonido se basa en la emisión de ondas de sonido que superan el rango de frecuencias audibles la cual supera los 22 KHz. A determinadas frecuencias

superiores a las del rango audible se puede controlar el crecimiento de algas verdes y cianobacterias las cuales emplean unas células de gas que tienden a subir a la superficie y tomar la energía del sol para realizar la fotosíntesis y continuar con el ciclo de vida, en la Figura 2.4 se presenta el dispositivo que genera el ultrasonido en el agua y como este se propaga. (lgsonic, 2019)

Figura 2.4. Dispositivo generador de ultrasonido.



Dispositivo utilizado para generar el ultrasonido en el agua, Fuente: (lgsonic, 2019)

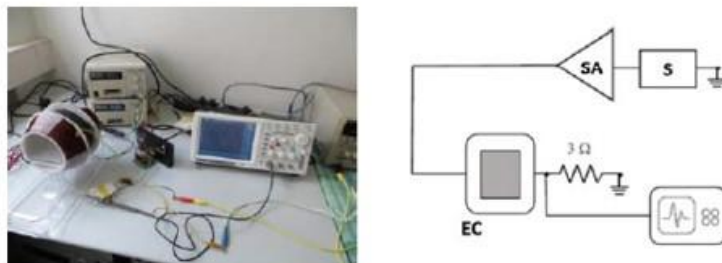
Esta tecnología se ha desarrollado y se ha acentuado firmemente en los últimos años ya que es una tecnología amigable con el ambiente respetando la vida del ecosistema existente en el agua, esta tecnología se ha desarrollado en base de ondas sonoras de baja potencia pero que sean variables ya que las algas se adaptan a cambios en los parámetros del agua dependiendo de la estación del año.

La tecnología de ultrasonido se aplicó en la estación de agua cruda ubicada en San Rafael, Ecuador en el 2013, en el cual se empleó un equipo LG SONIC e-line XXL, el cual posee un alcance de 200 metros de profundidad con un programa de frecuencia máxima 80, este proyecto se realizó para controlar y eliminara la población de algas de tipo (Anabaena) conocida como Cianobacterias la cual provocaba en dicho embalse mal olor y sabor del agua, también generaba problemas de digestión en las personas que consumían el agua de este embalse. (lgsonic, 2019)

2.2. Influencia de las ondas electromagnéticas en la reducción de la viabilidad de los organismos Procarióticos.

En este estudio se trata la reducción de dos bacterias u organismos Procarióticos los cuales son el *Deinococcus Radiodurans* y el *Enterobacter Aerogenes*, estos dos organismos están expuestos a un campo electromagnético de baja frecuencia en el rango de 1 a 2 kHz, los *Deinococcus Radiodurans* es uno de los organismos más resistentes a la radiación, este puede soportar dosis de 5.000 G, pero aun con esta radiación ionizante esta no tendrá cambios en su viabilidad, los *Enterobacter Aerogenes* es una bacteria que puede rápidamente adaptarse a tratamientos con antibióticos estándar, para combatir estas dos bacterias se utilizará el campo electromagnético exógeno, en la Figura 2.5 muestra el circuito utilizado y su armado. (Jan Barabas, 2016)

Figura 2.5. Circuito implementado para la reducción de la viabilidad de organismo Procarióticos.



Circuito utilizado para la reducción de la viabilidad de organismo Procarióticos, Fuente: (Jan Barabas, 2016)

El circuito de la Figura 2.5 está compuesto de generador de señal (S), un amplificador de la señal (SA), una bobina que utiliza tres bobinas en serie para lograr generar el campo electromagnético (EC) y un osciloscopio.

Para realizar este proyecto se toman muestras en condiciones estériles y térmicas idénticas para las dos bacterias primero estas se encontraban en solución de glucosa, después se pipetearon las muestras en cantidades 100 μ l en dos placas de microtiter, las cuales

contenían las dos bacterias separadas, estas muestras fueron expuestas a cuatro horas de un campo electromagnético con una frecuencia de 1.24 kHz y con una densidad de flujo magnético de 1.6 mT, luego de realizar todo lo anterior se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la Tabla 2.1 y Tabla 2.2, para la obtención de estos resultados se usó el software OpenCFU. (Jan Barabas, 2016)

Tabla 2.1. Resultados de unidades formadoras de colonias (CFU) de las muestras de *Deinococcus Radiodurans* (1700).

	ID de la prueba			
	1	2	3	4
CFU expuesta	98	37	9	8
CFU controladas	1526	961	472	428
Relación EXP/CONT	0.064	0.039	0.019	0.019

Tabla de los resultados obtenidos de las muestras de *Deinococcus Radiodurans* (1700) con el software OpenCFU, Fuente: (Jan Barabas, 2016)

Tabla 2.2. Resultados de unidades formadoras de colonias (CFU) de las muestras de *Enterobacter aerogenes* (2531).

	ID de la prueba			
	1	2	3	4
CFU expuesta	495	270	256	152
CFU controladas	1324	1129	549	667
Relación EXP/CONT	0.374	0.239	0.466	0.225

Tabla de los resultados obtenidos de las muestras de *Enterobacter Aerogenes* (2531) con el software OpenCFU, Fuente: (Jan Barabas, 2016)

Las Tablas 2.1 y 2.2 muestran que si se logró la reducción de CFU de las dos bacterias en especial la reducción de la bacteria *Deinococcus Radiodurans*, ya que este tiende a resistir dosis muy extremas de radiación ionizante, este proyecto apoya a la teoría de la resonancia paramétrica de iones, ya que se tiene una posible relación con esta, esta teoría toma la combinación paralela del campo magnético de la tierra que tiene una densidad de flujo de 47 μT el cual va a variar dependiendo de la ubicación geográfica y el campo magnético de exógeno el cual varía en el tiempo. (Jan Barabas, 2016)

2.3. Influencia de las ondas electromagnéticas sobre el agua

Todo tipo de materiales son influenciados directa o indirectamente con la variación del campo magnético y eléctrico, los campos electromagnéticos son fuerzas fundamentales de la física que se originan al producirse por partículas cargadas en movimiento. Las fuerzas generadas por estas partículas pueden realizar cambios físicos y químicos en el agua, en el planeta todos los seres vivos están expuestos a los campos magnéticos naturales del planeta lo cual indica que el campo magnético es la energía natural fundamental que se encarga de modificar cambios físicos y químicos en los ciclos de vida, varios estudios realizados afirman que el campo electromagnético en el agua ayuda a cambiar sus propiedades físico-químicas como son su densidad, pH, tensión superficial, solubilidad, conductividad eléctrica, lo que ayuda que sea un agua pura, ligera a diferencia de su estado natural. (Pérez R. d., 2010)

Para que el campo eléctrico tenga efecto sobre el agua se debe asegurar que el campo esté perpendicular al flujo de agua es ahí donde en campo electromagnético altera las propiedades fisicoquímicas de la misma, estos cambios que se producen en el agua por la acción del campo electromagnéticos son reversibles lo que indica que después de un periodo de tiempo el agua vuelve a su estado original, este tiempo que transcurre es llamado memoria magnética. (Pérez R. d., 2010)

Según estudios realizados con anterioridad se dice que el campo magnético influye positivamente sobre la agricultura y el agua, en el agua de riego ayuda a estabilizar el pH, elimina algas, según estudios realizados en aguas de riego que se trató con campos

electromagnéticos no se notó la presencia de algas y por ende el agua posee mayor cantidad de nutrientes y beneficia a los cultivos en donde se riega esta agua. (Pérez R. d., 2010)

Se realizó un experimento en la Universidad del Oriente de Santiago de Cuba, el cual consiste en observar cómo afecta el agua tratada con campo magnético en los cultivos de pepino, para cambiar las propiedades fisicoquímicas del agua y emplearlas en agua de riego se emplea un campo magnético estático con tres diferentes valores que son, 0.05Teslas, 0.06Teslas, 0.07Teslas, en el experimento se observó que las plantas que se regaron con agua sin tratamiento magnético demoraron en crecer y sus hojas, tallo, frutos fueron pequeños a diferencia de las plantas que se regaron con el agua tratada magnéticamente estas plantas adquirieron un crecimiento rápido con tallo, hojas , frutos con mejor aspecto. (Pérez R. d., 2010)

En otro estudio se emplean campos magnéticos para la disminución del crecimiento de Escherichia Coli presente en el agua de la misma forma que el estudio anterior el agua es sometida a un campo magnético con diferentes métodos de investigación como se muestra en la Tabla 2.3

Tabla 2.3. Resultado de diferentes muestras para el control de Escherichia Coli.

Métodos aplicados por investigador	Tiempo de exposición (m)	Temperatura en (grados centígrados)	Campo magnético (mT)	Cultivo de muestra	Efectos
Belyaev	15	No aplica	0.021	Caldo luria	Inhibición
Bajpai	30, 60, 120, 240	37	100	Medio Luria Bertani	Inhibición

Bajpai et	30, 120, 240	37	100	Medio Luria Bertani	Inhibición
Filipic et	0-25	28 ± 0.5	5, 17, 50	Medio Luria Bertani	Inhibición
Del Re et	3480	37	0.1 - 1	Medio Luria Bertani	Sin efecto
Esmecaya et	1440	No aplica	2	Medio Luria Bertani con FeCl ₃	Sin efecto

Tabla de estudios realizados en diferentes muestras para el control de Escherichia Coli, Fuente: (Sandra Johana Hernández Jiménez, 2015)

2.4. Parámetros a considerar para la eliminación de algas en aguas de embalse

2.4.1. Algas verde-azuladas (Cianobacterias)

A las cianobacterias o algas verde-azules son consideradas bacterias capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica, estos microorganismos pertenecen a la familia de las procariotas este tipo de algas se les puede encontrar en los entornos marinos tanto en agua dulce y salada. (Pérez R. E., 2014)

2.4.2. Algas verdes

A las algas verdes entran en el reino de Protista, solo entran en este reino a los organismos que no se les puede considerar plantas, animales, bacterias y hongos, esto es debido a que estas algas no presentan todas las características necesarias para lograr entrar en alguno de ellos, estas algas tienen células eucariotas y se pueden ser unicelulares y pluricelulares, se les puede encontrar en los entornos marinos tanto en agua dulce y salada. (Izquierdo, 2015)

2.4.3. Algas verdes y Cianobacterias (Causas de la aparición)

Las causas de la aparición de las algas verdes y cianobacterias son varias, entre las más importantes se presentan a continuación:

- La excesiva carga de los nutrientes en el agua es un de las principales causas de la aparición de estas algas por lo general es causado por el alto nivel del fósforo (P) y del nitrógeno (N), Tanto el fósforo como el nitrógeno son de gran importancia para la vida de los organismos, pero deben tener la proporción molecular adecuada la cual sería de 7N:1P, ya que el exceso de fósforo o nitrógeno puede transformarse a uno de ellos en un nutriente limitante que ayudara al crecimiento de las floraciones de algas, este proceso de floración puede tardar algún tiempo en crecer pero si existe la intervención del hombre este crecimiento lento puede acelerarse por ejemplo por actividades industriales. (Leon, 2002)

- El exceso de luz solar o luz directa que se presenta en los depósitos de agua o embalses ya que estos permanecen al aire libre, por lo que la luz solar incrementa la temperatura del agua y causa el crecimiento de algas verde y cianobacterias, esta luz directa aumenta la demanda de nutrientes, la actividad fotosintética e incremento en la biomasa de estas algas, este es uno de los problemas principales en los depósitos ya que existe el calentamiento global en la tierra que año tras año sigue aumentando y el excesivo calentamiento del agua sigue ayudando al crecimiento de estas algas, la temperatura mayor a 20° C ayuda al crecimiento de este tipo de algas (Leon, 2002)

- El viento genera turbulencias en el medio ambiente, el cual tiene la capacidad de controlar las floraciones que se dan en el agua por ende también provoca una disminución de las tasas de biomasa algal y fotosíntesis, el viento puede impedir la acumulación de las algas que existen en la superficie de los

depósitos o embalses ya que el viento puede detener el crecimiento de los nutrientes que se están generando en el agua, el crecimiento de las algas principalmente se da en los espacios del depósito donde no llega mucho viento por ejemplo en los bordes del depósito y en los lugares tapados de los depósitos. (Leon, 2002)

- El incremento del pH se da por la poca presencia de carbono inorgánico en el agua, este fenómeno se da por características naturales que pueden existir en el medio ambiente como por ejemplo en aguas duras o también por el incremento de la población de fitoplanctónica, gracias a estos factores hay un cambio en la concentración de iones que se encuentran en el agua, que ayuda al crecimiento de estas algas. (Leon, 2002)

2.4.4. Algas verdes y Cianobacterias (eliminación de algas)

En un estanque o embalse de agua se tiene una excesiva acumulación de nitratos y fosfatos que en los ríos de flujo natural, esto conlleva a plantas de todo tipo empiecen a proliferarse en especial las algas verdes y cianobacterias las cuales se alimentan de dichos nutrientes, más la incidencia de luz solar en un ambiente óptimo para su proliferación, el fenómeno de proliferación de algas es muy natural en aguas de embalse pero una exageración de las mismas provoca una eutrofización extrema del agua provocando un gran impacto sobre la calidad de la misma, por ende se debe controlar y tratar de eliminar dichas especies de algas. (Doméstica, 2019)

Los parámetros técnicos que se deben considerar para mantener la calidad del agua y libre de algas son los siguientes: olor, sabor, turbidez, pH, conductividad. Pero los parámetros más importantes a considerar serán la temperatura el pH y la conductividad del agua que estos parámetros ayudan a prevenir su proliferación, ya que una vez que se tiene una infección de algas estas son muy difíciles de eliminarlas a menos que se usen productos químicos con un alto grado de toxicidad, el cual no solo matara las algas sino todo organismo vivo existente en el embalse. (Pradillo, 2016)

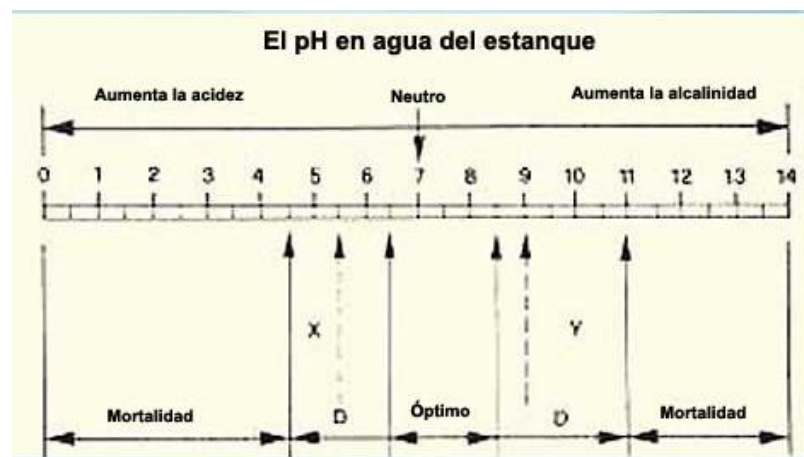
a. Temperatura

La temperatura llega a ser uno de los parámetros físicos más importantes que debe controlar ya que el aumento o reducción de la temperatura influye en la actividad biológica dentro del agua, esto conlleva a que se vean afectados varios parámetros como es la oxigenación, acumulación de sedimentos, procesos de absorción de nutrientes, lo cual conlleva a que al agua pierda su calidad y se proliferen organismos como las algas verdes y verde-azuladas que aprovechan la luz solar para continuar con sus actividades biológicas, a mayor temperatura se tiene mayor riesgo de tener una afección del agua provocada por algas, por lo que se recomienda disminuir la temperatura del agua y mantenerla en constante movimiento y oxigenación a base de aireadores y mezcladores. (Pradillo, 2016)

b. Control de pH

El pH es un parámetro químico más importante a considerar ya que este influye directamente en la actividad biológica del agua al igual que la temperatura, por ende un pH natural y óptimo para mantener la calidad del agua está entre los 6.5 hasta 8.5 como se aprecia en la Figura 2.6 un pH por encima o por debajo del rango óptimo puede ocasionar la muerte de plantas y animales pero a su vez puede influir en el crecimiento de bacterias, algas y cianobacterias las cuales se alimentan de los organismos muertos o necesitan de la luz solar para continuar con su ciclo de vida. (agricultura, 2016)

Figura 2.6. Niveles de pH permitidos en el agua.



Valores de pH existentes en un agua de estanque, Fuente: (agricultura, 2016)

El valor inicial del pH en el estanque depende también del pH que contiene el suelo, esto se mantendrá hasta que el suelo adopte las propiedades del agua, además el pH varía a lo largo del día debido a su actividad biológica, en el día las plantas realizan fotosíntesis y en la noche absorben oxígeno debido a la respiración, al amanecer se puede decir que se obtiene el valor de pH más bajo hasta 4.5 produciendo una acidez excesiva y durante el día se tiene el pH más alto llegando a alcanzar un valor de 9.5 produciendo una alcalinidad excesiva. (Pradillo, 2016) (Road, 2016)

c. Conductividad

La conductividad está definida como la capacidad que tiene un elemento o cuerpo para transportar o conducir fenómenos físicos como la electricidad, temperatura entre otros, el agua es uno de los elementos capaces de conducir campo eléctrico debido a los nutrientes disueltos en la misma, la conductividad está dada por la ecuación presentada a continuación.

$$S = \frac{J}{e} = \frac{1}{r} = \frac{S}{m} \quad (\text{Road, 2016}) \quad \text{Ec. (2.1)}$$

En la ecuación anterior se relaciona la densidad de corriente eléctrica (J) y la intensidad de campo eléctrico (e) la cual se opone una resistencia (r, [W*m]), y el resultado se obtiene Siemens/m. (Road, 2016)

En si el agua pura no es un buen conductor de campo eléctrico ya que la acumulación de nutrientes y sales es muy baja, por ende, si se emplea agua destilada se tendrá conductividad cero, este parámetro de conductividad es muy importante ya que se aprovecha los minerales disueltos en el agua para poder propagar ondas electromagnéticas en la misma y así poder controlar y eliminar microorganismos presentes en el agua, la conductividad en agua ultra pura 5.5 uS/m, en agua potable varía entre los 0.005 – 0.05 S/m, y el agua del mar posee una conductividad alta por las sales disueltas en la misma con un valor de 5 S/m. (Road, 2016)

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

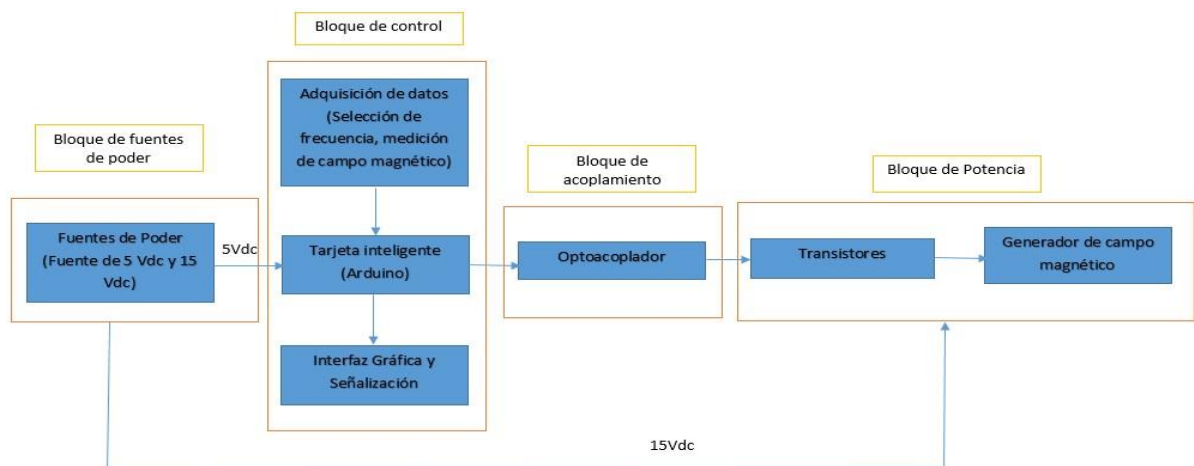
3.1. Bloques y Módulos empleados para el diseño de la propuesta

Por lo presentado en el Capítulo 2 principalmente en los temas de “Influencia de las ondas electromagnéticas en la reducción de la viabilidad de los organismos Procarióticos” e “Influencia de las ondas electromagnéticas sobre el agua”, se toma la decisión que la mejor manera de propagar ondas electromagnéticas en el agua es por medio del campo magnético, en base a este hecho se realiza un diagrama esquemático del prototipo deseado.

3.1.1. Diagrama esquemático del prototipo

Como se menciona en el capítulo 1 del presente proyecto técnico se tiene como uno de los objetivos, el diseño y construcción de un prototipo que permita generar ondas electromagnéticas de frecuencia variable, el cual permite realizar el análisis de la disminución y control de las algas, en la Figura 3.1 se muestra el diseño esquemático del prototipo que está representado por un diagrama de bloques, este consta de 4 bloques principales que son: fuentes de poder, control, acoplamiento y potencia, el bloque de control consta de 3 módulos que son: Adquisición de datos, Tarjeta Inteligente (Arduino) y el de Interfaz gráfica, el bloque de potencia consta de 2 módulos que son: Transistores y generador de campo magnético.

Figura 3.1. Diagrama de bloques del prototipo.



Esquema por módulos del prototipo electrónico, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

3.1.2. Bloque de Fuentes de poder

En el bloque de las fuentes de poder se tiene dos fuentes de poder, las cuales deben tener los parámetros necesarios para poder abastecer a los diferentes bloques que conforman el prototipo, este bloque es el más esencial ya que sin el voltaje y corriente necesaria no pueden funcionar los demás módulos que dependen de él.

a. Fuente de alimentación del bloque de control

Se emplea una fuente de poder de 5 Vdc con una corriente máxima de 1 A la cual permite alimentar al bloque de control que cuenta con los módulos de procesamiento y generador de señales, al igual que los módulos de adquisición de datos, interfaz gráfica y señalización.

b. Fuente de alimentación del bloque de potencia

Se emplea una fuente de poder de 15 Vdc con una corriente máxima de 1.5 A la cual permite alimentar el bloque de potencia, el cual está conformado por diferentes módulos de transistores y módulo de generador de campo magnético, se emplea una corriente elevada para así obtener mayor campo magnético.

3.1.3. Bloque de control

Este bloque está conformado por diferentes módulos que son adquisición de datos, interfaz gráfica y Tarjeta inteligente Arduino (generador de señales), el bloque de control es uno de los más importantes ya que permite adquirir y procesar los datos para enviar la señal con frecuencia necesaria al bloque de potencia, para así obtener un campo magnético con los parámetros necesarios para el estudio del control y eliminación de algas verdes y cianobacterias, además permite realizar la gestión por medio de los módulos de interfaz gráfica y señalización, observando todos estos requerimientos se considera emplear una tarjeta Arduino.

3.1.4. Bloque de acoplamiento

Este bloque es el encargado de aislar y acoplar el circuito de potencia y el circuito de control, debido a la diferencia de corrientes y voltajes es necesario emplear este bloque,

ya que al conectar directamente el bloque de potencia con el bloque de control se presentaría daños en el bloque de control específicamente en la tarjeta Arduino, por ende, se emplea un transistor en modo de corte y saturación.

3.1.5. Bloque de potencia

Este bloque consta de dos módulos, como es el módulo de transistores y el módulo generador de campo magnético, este bloque es uno de los más esenciales ya que mediante este bloque podemos obtener la señal con la corriente necesaria para obtener los parámetros de campo magnético requeridos.

a. Módulo de transistores

Mediante este módulo se acopla la fuente de 15 Vdc a 1 A con el modulo generador de campo magnético, el módulo de transistores depende de la corriente necesaria en el módulo de generador, además se emplea transistores ya que permite trabajar en un alto rango de frecuencia porque son de conmutación rápida a diferencia de los relés que son de conmutación lenta.

b. Módulo generador de campo magnético

Este módulo es el encargado de recibir la señal acondicionada con la frecuencia, corriente y voltaje necesarios para generar una onda electromagnética con campo magnético necesario para poder realizar el estudio.

3.1.6. Elementos principales utilizados en el prototipo

En la Tabla 3.1 se presenta los elementos principales que se utilizan en el diseño del prototipo con su función principal.

Tabla 3.1. Elementos o Equipos utilizados en el prototipo con su función principal.

Bloque	Elemento o Equipo	Función
	Fuente de 5 Vdc a 1A	Alimentar el bloque de control

Bloque de fuentes de poder	Fuente variable de 15 Vdc a 1A	Alimentar el bloque de potencia
Bloque de control	Tarjeta inteligente Arduino	Generador de señales
	Sensor Hall	Medir la densidad de flujo magnético
Bloque de potencia	Electroimán	Generador de campo magnético

Elementos principales utilizados en cada bloque, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

3.2. Componentes electrónicos empleados en los módulos con su implementación

En este espacio se describe el funcionamiento y los componentes electrónicos que conforman cada módulo, también se describe los circuitos electrónicos empleados en los módulos al igual que la implementación de los mismos, para el diseño y desarrollo de diferentes placas de cada módulo se utilizó el software Kicad, el cual tiene la capacidad de ser un software que permite el diseñar y fabricar placas de circuitos impresos (PCB).

3.2.1. Fuentes de poder

En la Figura 3.2 se observa cómo se distribuye las fuentes de poder dentro del sistema para la alimentación del prototipo electrónico, cabe recalcar que se debe tener una tierra común para el buen funcionamiento del prototipo electrónico.

Figura 3.2. Distribución de fuentes.

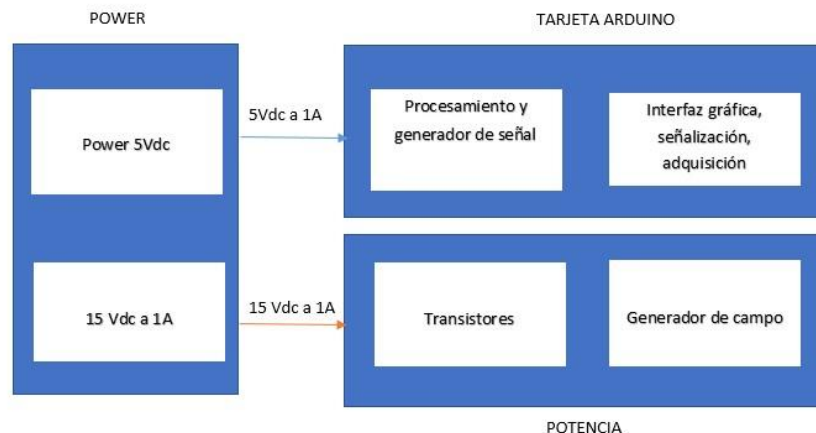


Diagrama de bloques de la distribución de fuentes, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

La fuente de voltaje que se emplea para el bloque de control y potencia son fuentes de voltaje comercial destinadas para experimentos, los cuales cumplen con los parámetros requeridos de los circuitos de control y potencia.

En la Figura 3.3 se presenta las fuentes utilizadas para la alimentación del prototipo.

Figura 3.3. Fuente variable de 15 V y Fuente de 5V.



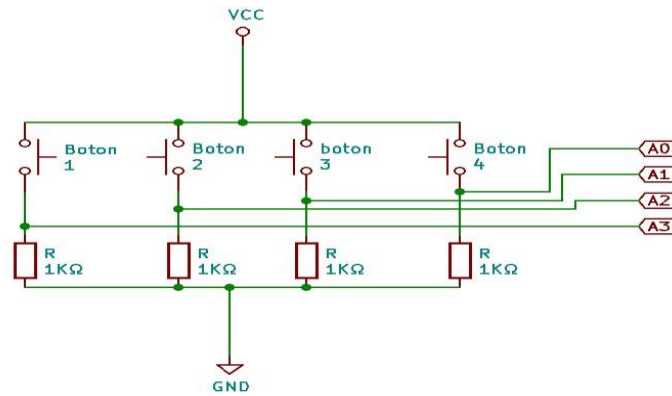
Fuentes utilizadas para la alimentación del prototipo, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

3.2.2. Etapa de control

a. Módulo Adquisición y ajuste de datos

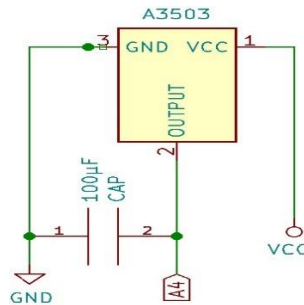
Se emplea los puertos de entradas digitales del Arduino junto con pulsadores para así asignar los valores de frecuencia, puesta en marcha del generador de frecuencia, subida y bajada del valor de frecuencia, en general se pretende emplear cuatro pulsadores para dicho objetivo, en la Figura 3.4 se presenta la disposición de los pulsadores, como se observa se utiliza el modo de Pull-Down, con lo cual permite detectar un uno lógico cada vez que se presione un pulsador, además se emplea una entrada analógica del Arduino junto con el sensor de efecto hall, para poder medir la densidad de flujo magnético que genera el prototipo, en el sensor hall se incorpora un capacitor entre el GND y la salida de la señal del sensor para reducir el ruido existente en este, la Figura 3.5 se presenta las conexiones del sensor hall.

Figura 3.4. Configuración de los pulsadores.



Circuito de la Configuración Pull-Down de los pulsadores, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Figura 3.5. Conexiones del Sensor Hall.



Circuito de conexiones del Sensor Hall, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

b. Configuración del sensor Hall

Para la configuración del sensor Hall se tomó en cuenta el parámetro de la sensibilidad (S_e) del sensor y cuál es el voltaje que genera este, cuando el sensor no detecta ningún campo magnético alrededor (NoC), para lo cual se utilizó la siguiente formula.

$$B = \frac{NoC - SiC}{S_e} \quad (\text{Manteca, 2013}) \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde SiC significa, cual es el voltaje del sensor cuando existe un campo magnético alrededor del sensor y B es la intensidad del campo magnético.

Para determinar el valor de NoC se tomó en cuenta que el sensor va a tener un voltaje de 0 a 5 voltios, la salida del sensor estará conectado a un pin análogo de un Arduino Uno el cual tiene 1024 pasos, lo cual significa que cuando el sensor de una lectura de 1023 el

sensor tendrá un voltaje de 5 V y cuando el sensor de una lectura de 0 el sensor tendrá un voltaje de 0 V, por lo tanto para determinar el valor de NoC se tiene que realizar una regla de tres, donde el sensor tendrá una lectura de 528 cuando no existe campo magnético por lo que se realiza la siguiente operación.

$$\text{Si } 1023 \rightarrow 5V$$

$$528 \rightarrow \text{NoC}$$

$$\text{NoC} = \frac{528 \times 5}{1023}$$

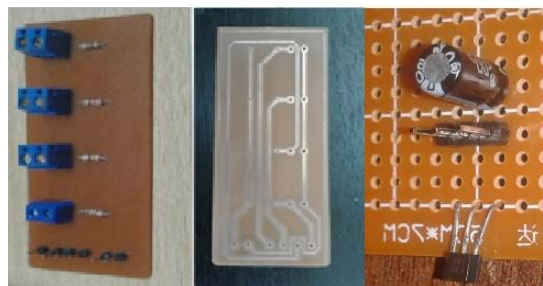
$$\text{NoC} = 2.580645161 V$$

El valor de NoC con la sensibilidad del sensor se coloca en la ecuación de la intensidad del campo magnético (B), la sensibilidad típica del sensor se puede observar en el Anexo C cuyo valor es de 1.3 mV/G, esta ecuación se debe aplicar en la programación del Arduino Uno. (Manteca, 2013)

c. Implementación del módulo adquisición y ajuste de datos

Para la implementación de este módulo se toma en cuenta los circuitos presentados en la Figura 3.4 y Figura 3.5, los cuales permitirán enviar datos a la tarjeta inteligente Arduino para que estos puedan ser procesados por esta, en la Figura 3.6 se presenta la tarjeta de botones la cual se utiliza para variar la frecuencia deseada por el usuario y en la misma Figura se presenta la placa del sensor Hall.

Figura 3.6. Tarjeta de botones con montaje de los elementos deseados y sensor Hall.



Módulo de adquisición y ajuste de datos implementado, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

d. Módulo de Interfaz gráfica

Se emplea una LCD comercial de 16x2 junto con el Arduino para visualizar los diferentes valores de frecuencia, campo magnético generado por el prototipo, lo cual permite llevar un control visual de los parámetros requeridos y seleccionados para cumplir con el objetivo del proyecto técnico.

e. Implementación del Módulo de Interfaz gráfica

La conexión de la LCD al Arduino se presenta en la Tabla 3.2, esta interfaz gráfica permite al usuario ver textualmente los cambios efectuados en la frecuencia y la lectura obtenido por el sensor hall, en la Figura 3.7 se puede observar los diferentes valores presentados en esta interfaz gráfica (LCD).

Tabla 3.2. Conexiones de Arduino a LCD. Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Arduino	GND	+5V	2	3	4	5	11	GND	12	+5V	GND
LCD	K	A	D7	D6	D5	D4	E	RW	RS	VDD	VSS

Conexión de la LCD al Arduino, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Figura 3.7. Interfaz gráfica LCD.



Parámetros a considerar en el prototipo electrónico, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

f. Módulo de Tarjeta inteligente Arduino

El presente proyecto se pretende emplear un Arduino Uno por sus grandes prestaciones y sus puertos analógicos y digitales, en el Anexo A se presenta el concepto del mismo como sus características principales.

Como se menciona en la Tabla 3.1 se desea que el Arduino cumpla la función de un generador de señales la cual genere una señal cuadrada a diferentes frecuencias, para lograr este objetivo se utilizó la programación del Anexo H.

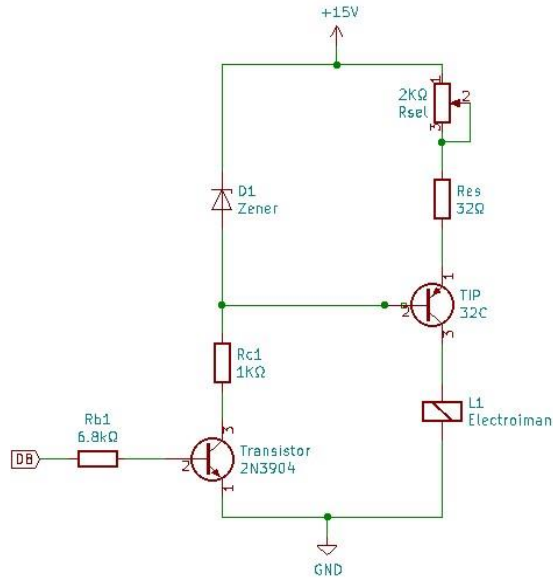
g. Implementación del módulo de Tarjeta inteligente Arduino

La implementación de este módulo es el más importante ya que este une todos los bloques y módulos de todo el prototipo ya que este viene a ser el corazón del prototipo, el módulo de potencia se integra al pin 8 y al GND del Arduino por donde sale la señal de onda cuadrada con frecuencia variable, la tarjeta de botones se integra al Arduino por los pines analógicos A0, A1, A2, A3, los cuales funcionan como entradas digitales y ayudan a modificar y controlar los parámetros de frecuencia y puesta en marcha del prototipo, el sensor de efecto Hall se integra al Arduino mediante el pin analógico A4, el cual adquiere los datos analógicos y los procesa, la LCD 16x2 se integra al Arduino mediante los puertos descritos en la Tabla 3.8.

3.2.3. Etapa de potencia

La etapa de potencia consta de un bloque de acoplamiento, acondicionamiento y generador de campo, en el bloque de acoplamiento y acondicionamiento se tiene un transistor 2N3904 el cual permite que la señal proveniente del generador se acople con la parte de acondicionamiento mediante un TIP32C, se emplea el TIP32C por la corriente que debe soportar ya que a bajas frecuencias de trabajo la corriente sube hasta el valor máximo y un transistor común PNP se recalienta y tiende a dañarse, los dos transistores al trabajar juntos acondiciona la señal en frecuencia y corriente, además se emplea un diodo zener con un umbral de 5.2V el cual regula y mantiene el voltaje en un solo nivel en este caso mantiene en un nivel del valor umbral que es 5.2V, para obtener el valor de corriente necesario se emplea un potenciómetro logarítmico, el cual permite variar el valor de la corriente para alimentar al generador de campo magnético que está compuesto por un electroimán y así obtener una onda electromagnética con las parámetros necesarios para cumplir con los objetivos propuestos, en la Figura 3.8 se indica la configuración de los transistores para el acoplamiento y acondicionamiento de la señal.

Figura 3.8. Circuito de potencia.



Circuito de transistores y acoplamiento, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

a. Implementación del bloque de acoplamiento y el módulo de transistores

Para implementar este módulo se unió el bloque de acoplamiento y el módulo de transistores en una sola placa tomando en cuenta el circuito presentado en la Figura 3.8, en la Figura 3.9 se observa la tarjeta PCB concluida con todos los elementos necesarios para su correcto funcionamiento y con sus respectivas borneras para el montaje y unión con los demás módulos.

Figura 3.9. Tarjeta de potencia y acoplamiento con montaje de los elementos necesarios.



Módulo de acoplamiento y transistores implementado, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

b. Implementación del módulo generador de campo magnético

El modulo generador de campo magnético está conformado por un electroimán cilíndrico comercial, este electroimán se describe en el Anexo B, el electroimán recibe la señal acoplada y genera un campo magnético con la frecuencia requerida, dicho electroimán se encuentra soportada por una estructura metálica, los planos de la estructura metálica se presenta en el Anexo E, esta estructura también se encarga de soportar al sensor hall, vale recalcar que a mayor frecuencia menor será el campo de atracción y a menor frecuencia mayor será el campo de atracción, en la Figura 3.10 se puede ver a la estructura metálica acoplado ya el electroimán y el sensor hall.

Figura 3.10. Estructura metálica acoplado el electroimán y sensor Hall.



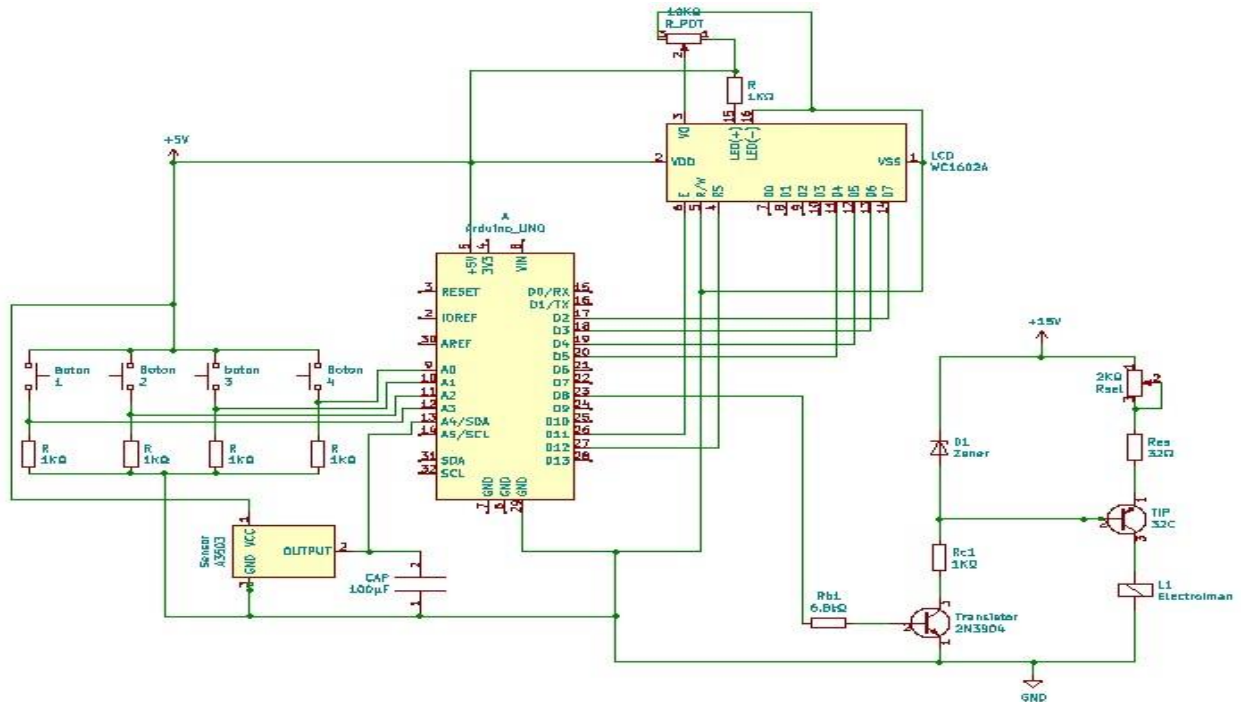
Implementación del módulo generador campo magnético, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Para la calibración de la densidad de flujo magnético (B) emitida por el electroimán, se utiliza una señal pulsante a distintas frecuencias, la calibración se realiza tomando en cuenta su valor pico empleando una señal continua del mismo valor de las señales pulsantes pico, donde se obtuvo que la señal continua a 15 Vdc tiene un valor de 124.45 mT con una corriente de 390 mA.

3.3. Circuito final del prototipo

Una vez ya conocidos todos los bloques que se desea implementar y los componentes deseados en cada módulo se procede a unir todos los bloques, en un solo circuito con la ayuda del Arduino, para así tener el circuito funcionando en óptimas condiciones, a continuación, se presenta las conexiones necesarias para unir el circuito final del prototipo el cual se muestra en la Figura 3.11.

Figura 3.11. Circuito final.



Circuito final del prototipo electrónico, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

3.3.1. Implementación de todos los bloques con la estructura principal

Una vez ya implementado todos los bloques y módulos necesarios se procede a unir todos los bloques en un solo prototipo, para lo cual se tiene una estructura principal que contenga a cada uno de estos como un medio de protección contra cualquier efecto externo que pueda presentarse, en la Figura 3.12 se presenta la estructura principal y el montaje de cada bloque sobre la estructura principal.

Figura 3.12. Estructura principal.



Estructura principal y montaje de los bloques de control, acoplamiento y módulo de transistores. Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

La fuente de poder de 5 Vdc se une con la parte de control mediante cable USB, la tarjeta Arduino posee un puerto USB la cual se conecta a la fuente de 5 Vdc, el cable USB además de proporcionar la energía necesaria para su correcto funcionamiento también permite acceder al código fuente.

La fuente de poder de voltaje variable de 0-15 Vdc se integra al prototipo mediante conectores banana colocados en la parte trasera de la estructura principal, esta fuente está conectada directamente con el módulo de potencia, las fuentes de 5 Vdc y de voltaje variable deben tener una tierra común para que el prototipo funcione de una manera óptima.

Los módulos de adquisición de datos e interfaz gráfica y señalización se integran al prototipo mediante buses de datos los cuales permiten intercambiar información desde la tarjeta controladora hasta los diferentes dispositivos de adquisición e interfaz gráfica y viceversa.

El actuador que en este caso vendría a ser el electroimán se integra con el prototipo por medio de borneras colocadas en la parte superior de la estructura principal, el electroimán está conectada directamente a un transistor TIP32C, el cual está ubicado en el módulo de potencia, este transistor trabaja en corte y saturación y soporta la corriente que el actuador requiere, adicional a este existe un transistor 2N3904 que trabaja en corte y saturación el cual permite que se una el módulo de potencia y la tarjeta controladora, mediante el transistor 2N2904, se acopla la señal con frecuencia variable al módulo de potencia y control de corriente para así generar una onda electromagnética con frecuencia variable.

En la Figura 3.13 se puede apreciar todos los bloques del prototipo ya implementados y unidos en su totalidad.

Figura 3.13. Equipos utilizados para realizar el control de algas.



Prototipo utilizado en el análisis experimental, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

3.4. Costos de implementación del prototipo

En la Tabla 3.3 se muestran los costos de los materiales empleados para una primera aproximación de los costos de implementación del prototipo.

Tabla 3.3. Costos de implementación.

Tipo	Descripción	Valor Estimado
Materiales	Tarjeta Arduino, Circuitos integrados, Transistores, Tips, Acoples, Resistencias, Cables, Capacitores, Diodo Zener, Electroimán, Conectores, LCD, Estructura metálica, Estructura de madera, Baquelitas, Arandelas, Potenciómetros Tuercas, Pernos, Sensores, Pulsadores.	\$ 100
Herramientas	Herramientas varias.	\$50
Equipos	Fuente variable de 15 Voltios y Fuente de 5 voltios	\$50
	Valor Total	\$200

Tabla de costos para la implantación del prototipo, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Escenario de pruebas

4.1.1. Toma de muestras

Para la realización de las pruebas se tomó muestras del estanque ubicado en el Parque "Las Cuadras" dicho Parque se encuentra ubicado en la Avenida Rumichaca y Calle Matilde Álvarez, el estanque del Parque Las Cuadras es un claro ejemplo del problema de la sobrepoblación de las algas en las aguas de embalse, en la Figura 4.1 se puede observar el estado del estanque donde se tiene agua muy verdosa producto de la sobrepoblación de algas que habitan en este estanque, las muestras se extraen del estanque con recipientes de plástico transparente, en la Figura 4.1 también se presenta las muestras tomadas de dicho estanque, no se consideran muestras de algas en desarrollo a partir de agua pura por motivos del tiempo que llevan en desarrollarse las algas (aproximadamente 2 meses en un clima controlado).

Figura 4.1. Estanque parque las cuadras.



Estanque del parque las cuadras y toma de muestras, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

4.1.2. Preparación de la muestra

Luego de extraer las muestras se procedió realizar dos preparaciones las cuales son:

- Primera preparación. Se extrae una parte de la muestra en una jeringa o en un gotero, luego en dos cajas de Petri se coloca 6 gotas de la muestra extraída en

cada caja, donde una de ellas toma la función de muestra testigo y la otra se utiliza para el tratamiento con ondas electromagnéticas.

- Segunda preparación. Se extrae de la muestra 160 ml de muestra en dos recipientes plásticos transparente, donde cada recipiente posee 80 ml de muestra, donde una de ellas toma la función de muestra testigo y la otra se utiliza para el tratamiento con ondas electromagnéticas.

En las dos preparaciones se utilizan dos muestras, para comparar las algas expuestas al tratamiento con las algas sin tratamiento, en la Figura 4.2 presenta las dos muestras preparadas.

Figura 4.2. Preparación de las muestras.



Muestras utilizadas para el tratamiento con campo magnético, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

4.1.3. Condiciones para el uso del electroimán

Una vez preparada la muestra se selecciona la frecuencia deseada, esta se selecciona desde el módulo de adquisición de datos implementado en la estructura principal, luego se procede a colocar la muestras bajo el electroimán, cabe recalcar que la muestra no debe topar el electroimán ya que puede existir oxidación departe del electroimán, la cual puede afectar a la muestra, por lo que se recomienda que la muestra este lo más cerca posible al electroimán como por ejemplo 1 mm de separación entre la muestra y el electroimán, en la Figura 4.3 se presenta la correcta colocación de la muestra con el electroimán.

Figura 4.3. Colocación de la muestra.



Correcta colocación de la muestra con el electroimán, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

4.1.4. Pruebas realizadas

Para realizar las pruebas del control y disminución de la población de algas se utilizó los laboratorios de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, donde la Universidad presto un microscopio con 4 aumentos (4X, 10X, 40X y 100X).

Para tratar las algas a una frecuencia adecuada y a un tiempo adecuado se tomó en cuenta el tema de “Influencia de las ondas electromagnéticas en la reducción de la viabilidad de los organismos procarióticos” presentado en el capítulo 2 donde se utiliza frecuencias desde 1000 Hz a 2000 Hz a un tiempo de tratamiento de 4 horas con una densidad de flujo magnético de 1.6mT, por lo mencionado anteriormente se decide utilizar 6 frecuencias diferentes las cuales son 900 Hz, 1000 Hz, 1100 Hz, 1200 Hz, 1240 Hz y 2000 Hz a un tiempo de tratamiento de 3 horas, el tiempo de tratamiento es menor por que el electroimán que se utiliza en el prototipo de este análisis experimental, tiene un densidad de flujo magnético de 124.45 mT.

Las pruebas del control y disminución de la población de algas se realizaron en 6 días en cada día se utilizó una frecuencia diferente, para cada una de estas frecuencias se utiliza la primera preparación, esta preparación se expondrá al tratamiento por un periodo de tiempo de 3 horas, estas horas se dividen en 6 tratamientos de 30 minutos cada una, donde la muestra se retira cada 30 minutos de la frecuencia para ver el estado de la misma en un microscopio para luego ser tratada por otros 30 minutos, este ciclo se repite hasta que se cumplan las 3 horas de tratamiento.

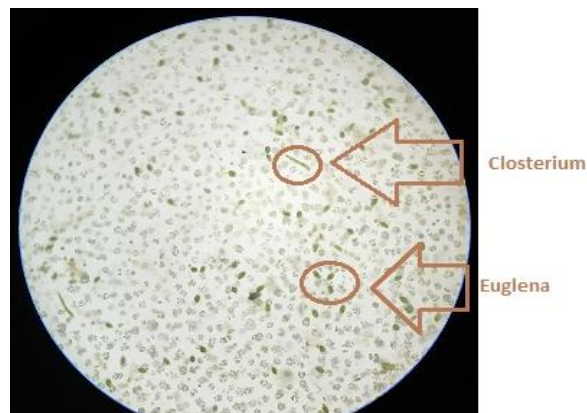
Para la segunda preparación se toma a consideración que la cantidad de muestra que se utiliza es mayor a la primera preparación, por lo tanto el tiempo de tratamiento de la muestra debe ser mayor, el periodo de tiempo que se utiliza para esta preparación será de 20 horas, con el riesgo que el prototipo electrónico pueda sobrecalentarse, por lo mencionado anteriormente se decide utilizar solo 2 frecuencias las cuales son 1000 Hz y 2000 Hz, estas dos frecuencias son utilizadas con el conociendo de la mejor frecuencia para tratar las algas, la cual se menciona en el Análisis de resultados de este documento, luego del tratamiento de esta preparación se extraer una parte de la muestra con una jeringa y se coloca 3 gotas de la muestra en un porta y cubre objetos respectivamente, para ver el estado de las algas en un microscopio.

4.1.5. Parámetros a considerar

Es importante considerar que dependiendo del aumento del microscopio se puede visualizar diferente algas, bacterias, amebas entre otros microorganismos, por ende se decide tratar 4 tipos de algas las cuales son Euglenas, Closteriums, Eudorinas y Cianobacterias.

Las algas Euglenas y Closteriums se pueden visualizar en el microscopio con un aumento de 10X, estos dos tipos de algas se presenta en la Figura 4.4, para el tratamiento de estas dos algas se utiliza la primera preparación, donde se pretende observar el comportamiento de estas dos algas al tratamiento del campo magnético.

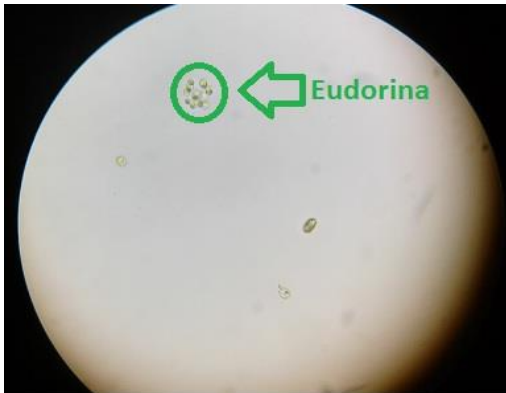
Figura 4.4. Tipos de algas Closterium y Euglena.



Presentación de las algas Closterium y Euglena, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Las algas Eudorinas se pueden visualizar en el microscopio con un aumento de 100X, estas algas se presenta en la Figura 4.5, para el tratamiento de estas algas se utiliza la segunda preparación, donde se pretende observar el comportamiento de estas algas al tratamiento del campo magnético.

Figura 4.5. Alga Eudorina.



Presentación de las algas del tipo Eudorina, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Las cianobacterias se pueden visualizar en el microscopio con un aumento de 400X, lo cual no es posible con los microscopios de la Universidad Politécnica Salesiana, por consiguiente la observación del comportamiento de estas cianobacterias al tratamiento del campo magnético, será por la población que se genera al fondo del recipiente, ya que estas se suelen a agruparse en el fondo del embalse lo que es visible para el ojo humano, en la Figura 4.6 se presenta las cianobacterias, para el tratamiento de las cianobacterias se utiliza la segunda preparación.

Figura 4.6. Cianobacterias.



Presentación de las cianobacterias, Fuente: (acuario, 2017)

4.2. Resultado obtenidos del tratamiento de algas

En la Tabla 4.1 se presentan las características principales de cada una de las frecuencias que se utilizan en el escenario de pruebas.

Tabla 4.1. Características de las frecuencias.

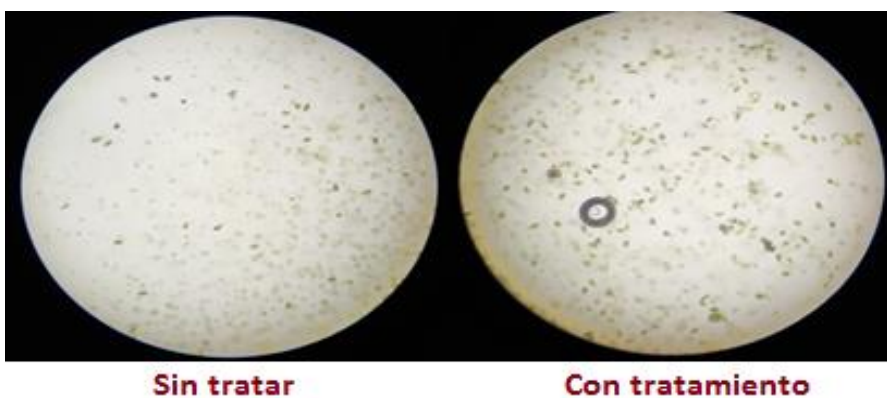
Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000
Corriente (A)	10m	10m	10m	9.5m	9.5m	5m
Teslas(T)	12.78m	12.78m	12.78m	12.78m	12.78m	12.41m

Frecuencias utilizadas en el escenario de pruebas, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Los resultados obtenidos para los microorganismos del tipo Euglenas y Closterium se presenta en las Tablas 4.2 a la 4.14 que corresponden al primer tratamiento, en donde se evidencia los efectos causados por una determinada frecuencia y a un diferente tiempo sobre los microorganismos antes mencionados, donde la **X** significa que no cumplen este fenómeno o característica y el **✓** significa que si lo cumple, los fenómenos o características más relevantes son:

- **Agrupación.** – Los microorganismos tiende a agruparse como un comportamiento natural ante un agente extraño para protegerse entre sí, durante el tratamiento los microorganismos se agrupan para protegerse de la radiación que inducia el campo magnético, en la Figura 4.7 se presenta la característica de agrupación.

Figura 4.7. Característica de agrupación.



Presentación de la característica agrupación, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

- **Cambio de forma.** - Los microorganismos del tipo Euglenas y Closterium dependiendo de la frecuencia y de la intensidad de campo, luego de la agrupación a un determinado tiempo de exposición a la radiación tienden a cambiar de forma, toman forma redonda y tienden a expandirse, eso ocurre dependiendo del tiempo de exposición y de la frecuencia a la que se está trabajando, en la Figura 4.8 se presenta la característica de cambio de forma.

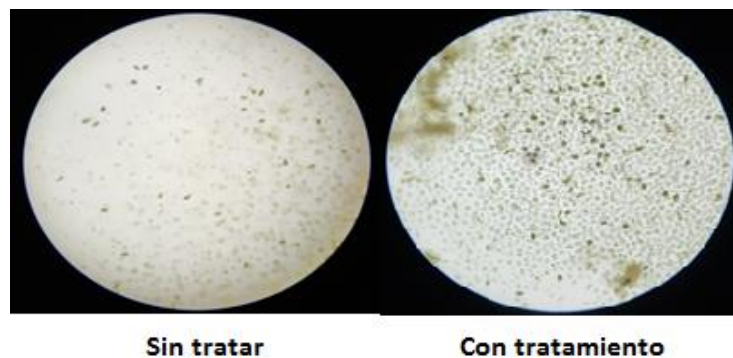
Figura 4.8. Característica de cambio de forma.



Presentación de la característica cambio de forma, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

- **Decoloración.** - Los microorganismos antes mencionados pierden su color de verde claro que sería su color original a un color marrón y en el caso extremo de ya quedar inertes toman un color negro o verde muy oscuro, es el caso de tratar a una frecuencia de 1000 Hz y a un tiempo de tres horas, en la Figura 4.9 se presenta la característica de decoloración.

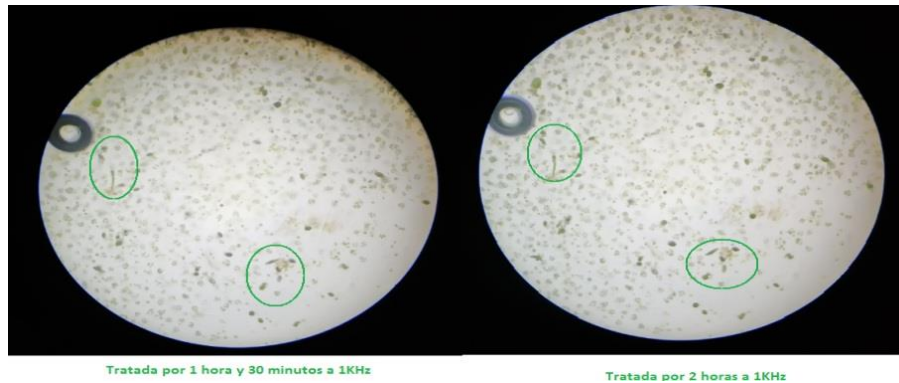
Figura 4.9. Característica de decoloración.



Presentación de la característica decoloración, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

- **Movimiento.**- El movimiento de los microorganismos indican su estado de salud, en el tratamiento se observa que a distintas frecuencias y diferentes tiempos los microorganismos se mueven de forma diferente a la inicial, tienden a moverse más lento de lo habitual o hasta incluso a quedarse totalmente sin movimiento, en la Figura 4.10 se presenta la característica de movimiento.

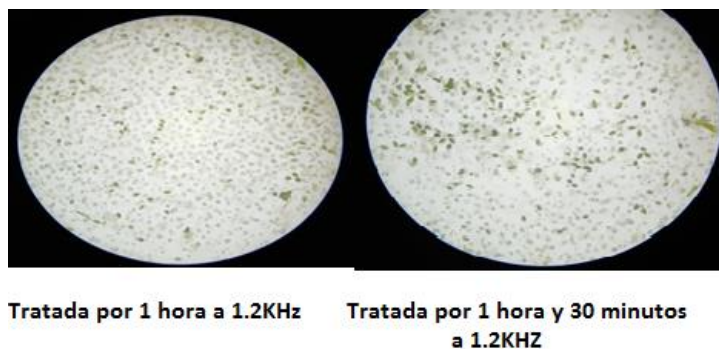
Figura 4.10. Característica de movimiento.



Presentación de la característica movimiento, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

- **Recuperación.** - En el tratamiento se observa que mientras los microorganismos no pierdan movimiento ellos tienden a recuperarse y volver a su forma original, esto quiere decir que con frecuencias distintas a 1000 Hz los microorganismos (Algas) con las mejores condiciones se recuperan de sus lesiones y continúan con su ciclo de vida, en la Figura 4.11 se presenta la característica de recuperación.

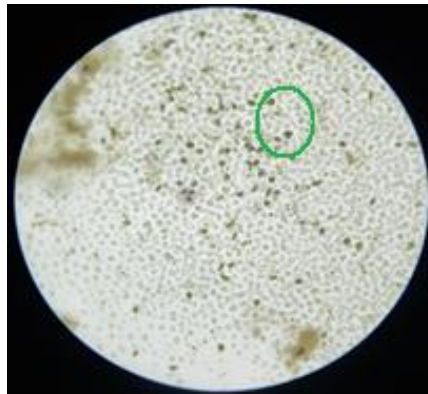
Figura 4.11. Característica de recuperación.



Presentación de la característica recuperación, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

- **Explosión.** - Este fenómeno se observa en los microorganismos después de que pierden su movimiento debido a que ya no pueden soportar la radiación de campo magnético a una determinada frecuencia y a un cierto tiempo en este caso a 1000 Hz y a tres horas de tratamiento, este fenómeno que sería el final para considerar que los microorganismos quedan sin vida, en la Figura 4.12 se presenta la característica de explosión.

Figura 4.12. Característica de explosión.



Tratada por 3 horas a 1KHZ

Presentación de la característica explosión, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.2. Algas a tratar Euglenas y Closterium estado inicial.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	X	X	X	X	X	X	X
Cambio de Forma	X	X	X	X	X	X	X
Decoloración	X	X	X	X	X	X	X
Movimiento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	X	X	X	X	X	X	X
Explosión	X	X	X	X	X	X	X

Algas en su estado inicial, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.3. Algas tratadas Euglenas a T=30 minutos.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	X	✓	✓	✓	X	✓	X
Cambio de Forma	✓	✓	✓	X	X	X	X
Decoloración	X	X	X	X	X	X	X
Movimiento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	X	X	X	X	X	X	✓
Explosión	X	X	X	X	X	X	X

Algas a un tratamiento de 30 minutos, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.4. Algas tratadas Euglenas a T= 1 hora.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cambio de Forma	✓	✓	✓	X	✓	✓	X
Decoloración	✓	✓	X	X	✓	✓	X
Movimiento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	X	X	X	X	X	X	✓
Explosión	X	X	X	X	X	X	X

Algas a un tratamiento de 1 hora, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.5. Algas tratadas Euglenas a T= 1 hora y 30 minutos.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cambio de Forma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Decoloración	X	✓	X	✓	X	✓	X
Movimiento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	X	X	✓	X	X	✓	✓
Explosión	X	X	X	X	X	X	X

Algas a un tratamiento de 1 hora y 30 minutos, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.6. Algas tratadas Euglenas a T= 2 horas.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cambio de Forma	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
Decoloración	X	✓	X	X	X	✓	X
Movimiento	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	✓	X	✓	X	X	✓	✓
Explosión	X	X	X	X	X	X	X

Algas a un tratamiento de 2 horas, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.7. Algas tratadas Euglenas a T= 2 horas y 30 minutos.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cambio de Forma	X	✓	✓	✓	X	✓	X
Decoloración	X	✓	X	✓	X	✓	X
Movimiento	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
Explosión	X	✓	X	X	X	X	X

Algas a un tratamiento de 2 horas y 30 minutos, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.8. Algas tratadas Euglenas a T= 3 horas.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cambio de Forma	X	✓	✓	✓	X	✓	X
Decoloración	X	✓	X	✓	X	✓	X
Movimiento	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
Explosión	X	✓	X	X	X	X	X

Algas a un tratamiento de 3 horas, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.9. Algas tratadas Closterium a T= 30 minutos.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100		1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	X	✓	✓		✓	X	✓	X
Cambio de Forma	X	X	X		X	X	X	X
Decoloración	X	X	X		X	X	✓	X
Movimiento	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Recuperación	X	X	X		X	X	X	✓
Explosión	X	X	X		X	X	X	X

Algas a un tratamiento de 30 minutos, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.10. Algas tratadas Closterium a T= 1 hora.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cambio de Forma	✓	✓	X	X	✓	X	X
Decoloración	✓	✓	✓	X	✓	✓	X
Movimiento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	X	X	X	X	X	X	✓
Explosión	X	X	X	X	X	X	X

Algas a un tratamiento de 1 hora, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.11. Algas tratadas Closterium a T= 1 hora y 30 minutos.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cambio de Forma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Decoloración	X	✓	X	X	X	✓	X
Movimiento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	X	X	✓	X	X	✓	✓
Explosión	X	X	X	X	X	X	X

Algas a un tratamiento de 1 hora y 30 minutos, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.12. Algas tratadas Closterium a T= 2 horas.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cambio de Forma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Decoloración	X	✓	X	X	X	✓	X
Movimiento	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	✓	X	✓	X	X	✓	✓
Explosión	X	X	X	X	X	X	X

Algas a un tratamiento de 2 horas, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.13. Algas tratadas Closterium a T= 2 horas y 30 minutos.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cambio de Forma	✓	✓	X	✓	✓	✓	X
Decoloración	X	✓	X	X	X	✓	X
Movimiento	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
Explosión	X	✓	X	X	X	X	X

Algas a un tratamiento de 2 horas y 30 minutos, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.14. Algas tratadas Closterium a T= 3 horas.

Frecuencia(HZ)	900	1000	1100	1200	1240	2000	Testigo
Agrupación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cambio de Forma	✓	✓	X	✓	✓	✓	X
Decoloración	X	✓	X	X	X	✓	X
Movimiento	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
Recuperación	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
Explosión	X	✓	X	X	X	X	X

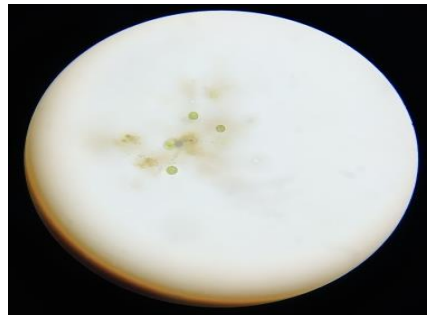
Algas a un tratamiento de 3 horas, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Los resultados obtenidos para los microorganismos del tipo Eudorinas y Cianobacterias se presenta en la Tabla 4.15 que corresponden al segundo tratamiento, en donde se evidencia los efectos causados por una determinada frecuencia y a un tiempo de 20 horas

de tratamiento sobre los microorganismos antes mencionados, los fenómenos o características más relevantes son:

- **Lesión.** - Se observa en un microscopio con un aumento de 100X que el microorganismo Eudoriana empieza a perder su coloración original cambiando de color verde a marrón, pero la estructura celular está intacta es por esa razón que se considera como lesionada, en la Figura 4.13 se presenta la característica de lesión.

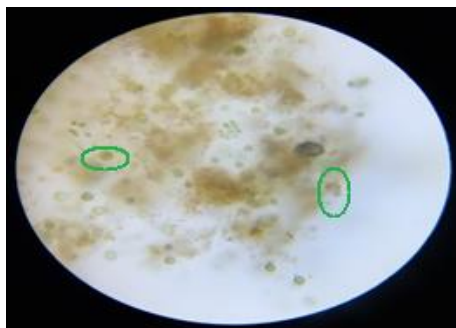
Figura 4.13. Característica de lesión.



Presentación de la característica lesión, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

- **Lesión y vaciado del núcleo.** – En esta ocasión se presenta que la Eudorina conserva su estructura externa, pero todo su contenido interno se libera hacia el agua por lo que empieza a tomar un color marrón el cual se nota visiblemente como se aprecia en el Anexo G, este resultado se observa a una frecuencia de 1000 Hz, en la Figura 4.14 se presenta la característica de lesión y vaciado del núcleo.

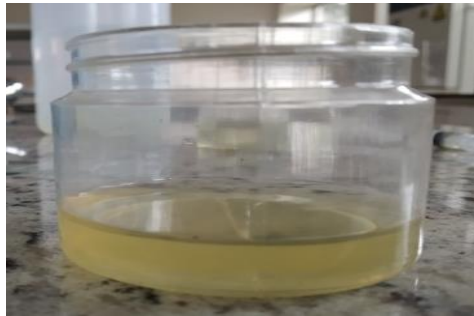
Figura 4.14. Característica de lesión y vaciado del núcleo.



Presentación de la característica lesión y vaciado, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango

- **Muerte y liberación de toxinas.** - Esta característica se debe a la muerte de las cianobacterias y las descomposiciones de las mismas liberan toxinas junto con los residuos liberados por las Eudorinas haciendo que el agua adquiera un color marrón que es visible por el ojo humano, para este resultado se somete la muestra a 1000 Hz, en la Figura 4.15 se presenta el cambio de color del agua.

Figura 4.15. Muerte y liberación de toxinas.



Cambio del color del agua por muerte y liberación de toxinas, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Tabla 4.15. Tratamiento de Eudorinas y cianobacterias a T= 20 horas.

Cianobacterias/Algas	Frecuencia de 1000 Hz	Frecuencia de 2000 Hz
Eudorina (Algas)	Lesión y vaciado del núcleo	Lesión
Cianobacterias	Muerte y liberación de toxinas al agua	Liberación de toxinas al agua
Agua	Cambio de coloración a un marrón oscuro	Cambio de coloración a marrón claro

Características de las algas tratadas a 20 horas, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

4.3. Análisis de resultados

De acuerdo con las Tablas 4.2 a la 4.14 se obtiene un resultado positivo que cumple con el objetivo de controlar y eliminar algas con una frecuencia de 1000 Hz para el tipo de algas Euglenas y Closteriums, las cuales se observa que en diferentes tiempos sometidas a una radiación electromagnética con una frecuencia de 1000 Hz llegan a perder su forma,

movimiento, decoloración, ya no se recuperan de las lesiones y por ultimo explotan, en la Figura 4.16 se puede apreciar la evolución del tratamiento desde que se toma la muestras hasta después de tres horas de tratamiento, se puede apreciar como las algas pierden su forma, color y hasta llegan a explotar debido a la influencia del campo magnético.

Figura 4.16. Tratamiento inicial y final a 1000 Hz.



Algas sin tratamiento y con tratamiento a 1000 Hz, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

A frecuencias diferentes a 1000 Hz se obtiene un resultado fallido ya que luego de 3 horas de tratamiento ciertas algas recuperan su forma debido a que no pierden su movimiento, casi llegan a moverse como en el estado inicial, esto sucede con las algas que tienen las mejores características de salud por ende con frecuencias diferentes a 1000 Hz se obtiene resultados negativos para los objetivos de este proyecto, en la Figura 4.17 se puede apreciar como ciertas algas luego de un tiempo de tratamiento llegan a recuperar su salud.

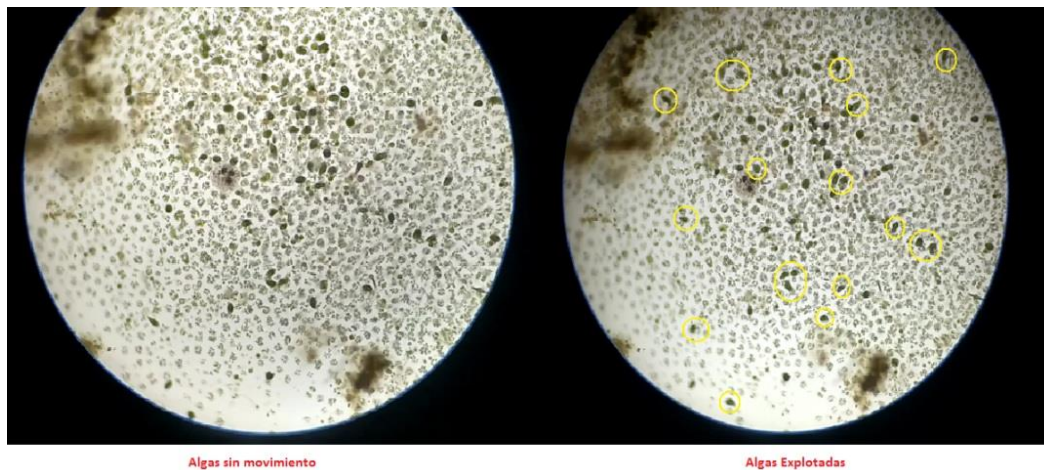
Figura 4.17. Tratamiento inicial y final a 2000 Hz.



Algas sin tratamiento y con tratamiento a 2000 Hz, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Para comprobar cuantas algas mueren en el tratamiento con 1000 Hz se considera 2 características que son el movimiento y la explosión, si las algas no se mueven se las puede considerar como muertas, pero si las algas explotan se puede confirmar la muerte de las mismas, para obtener un porcentaje confiable del número de algas muertas se considera una muestra con la primera preparación a un tratamiento de 2 horas, ya que las algas a este tiempo de tratamiento ya no se mueven como se muestra en la Tabla 4.6 para las Euglenas y la Tabla 4.12 para las Closteriums y con la misma muestra a un tratamiento de 3 horas donde las algas explotan, en la Figura 4.18 se presenta las algas Euglenas y Closteriums a un tratamiento de 2 y 3 horas de duración.

Figura 4.18. Algas Euglenas y Closteriums a un tratamiento de 2 horas y Algas Euglenas y Closteriums a un tratamiento de 3 horas.



Algas a un tratamiento de 2 y 3 horas, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

En la Figura 4.18 se puede observar 73 algas aproximadamente (# Algas) entre Euglenas y Closteriums en las algas sin movimiento, si solo se considera el movimiento de las algas para confirmar la muerte de las mismas, existe un 100 % de efectividad ya que ninguna alga se mueve, pero existe la posibilidad de la recuperación de las algas, por lo tanto se considera la explosión como confirmación de la muerte de las algas, en la Figura 4.18 también se puede observar las algas explotadas las cuales son un aproximado de 20 algas, (# Algas muertas) para conocer un porcentaje de algas muertas se realiza una regla de tres como se muestra en la siguiente operación.

Si: # Algas → 100 %

Algas muertas → *Al*

$$Al = \frac{20 \times 100}{73} = 27.4 \%$$

Donde *Al* representa el porcentaje de algas muertas, con la operación anterior se obtuvo un 27.4 % de algas muertas aproximadamente, entre Euglenas y Closteriums, cabe recalcar que la única forma de saber si las algas sin movimiento están muertas es con un estudio especializado por personas altamente calificadas.

De acuerdo con la Tabla 4.15 se somete a un tratamiento de 20 horas a una frecuencia de 1000 Hz y 2000 Hz obtenido resultados satisfactorios para este proyecto con una frecuencia de 1000 Hz, pero hay que tener en cuenta que el tiempo empleado para la prueba es muy grande, también se observa el cambio de color del agua de claro a marrón oscuro para una frecuencia de 1000 Hz y marrón claro para una frecuencia de 2000 Hz, como se puede apreciar en la Figura 4.19, donde se tienen tres muestras de agua como es la muestra testigo, la muestra sometida a 1000 Hz y la muestra sometida a 2000 Hz.

Figura 4.19. Tratamiento a 20 horas.

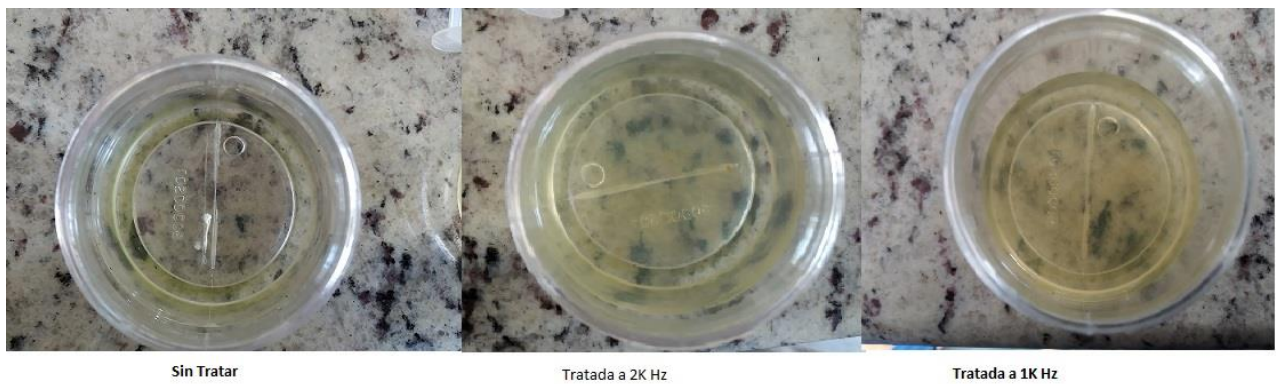


Cambio del color del agua a diferentes frecuencias, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Con la muestra sometida a un campo magnético con 1000 Hz se observa, que las algas de tipo Eudorina rompen su pared celular y liberan su contenido interno en el agua, las cianobacterias forman colonias pero al ser sometidas al campo magnético con 1000 Hz rompen su colonia y no vuelven a juntarse ya que pierden vida, por ende el agua tratada

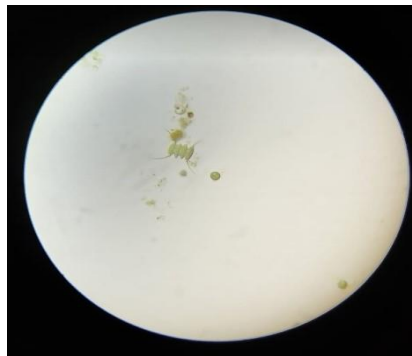
con 1000 Hz tiene un color marrón oscuro, por la liberación de toxinas en el agua ya que los cuerpos de los microorganismos quedan presentes en el agua y llegan a descomponerla, con la frecuencia de 2000 Hz las algas de tipo Eudorina no rompen su pared celular solo las lesiona lo cual no contamina el agua como la de 1000 Hz, pero adquiere un color marrón claro por la reducción de las colonias de cianobacterias, en la Figura 4.20 se observa la ruptura de la colonia bacteriana correspondiente a las cianobacterias y en la Figura 4.21 se aprecia la liberación del contenido interno del alga Eudorina.

Figura 4.20. Comparación de colonia de cianobacterias a distintas frecuencias.



Ruptura de la colonia bacteriana en las cianobacterias Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Figura 4.21. Eudorina explotada liberando su contenido interno.

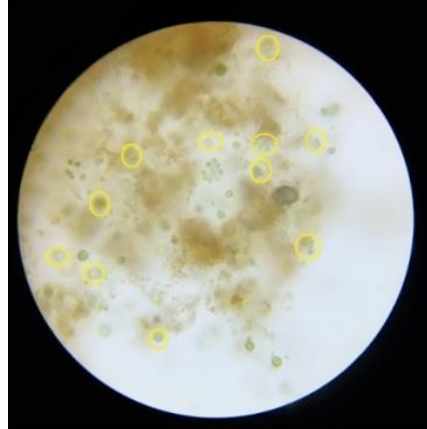


Liberación del contenido interno del alga Eudorina Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Para comprobar cuantas Eudorinas mueren en el tratamiento con 1000 Hz se considera la característica de lesión y vaciado del núcleo (rompen su pared celular) esta característica confirma la muerte de las Eudorinas, en la Figura 4.22 se puede observar un aproximado

de 28 Eudorinas (# Algas), donde 11 presentan la característica de lesión y vaciado del núcleo (# Algas muertas).

Figura 4.22. Eudorinas con lesión y vaciado del núcleo.



Eudorinas muertas, Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Para conocer un porcentaje de algas muertas se realiza la siguiente operación.

$$\text{Si } \# \text{ Algas} \rightarrow 100\%$$

$$\# \text{ Algas muertas} \rightarrow Eu$$

$$Eu = \frac{11 \times 100}{28} = 39.3 \%$$

Donde Eu representa el porcentaje de algas muertas, con la operación anterior se obtuvo un 39.3 % de Eudorinas muertas aproximadamente, cabe recalcar que no se obtuvo un porcentaje de cianobacterias muertas, por el motivo que las cianobacterias se observa microscópicamente con un aumento de 400X y la Universidad Politécnica Salesiana no cuenta con un microscopio de esas características, por lo tanto la confirmación de la muerte de las cianobacterias se consideró la reducción de las colonias de cianobacterias, como se muestra en la Figura 4.20.

CONCLUSIONES

Por los temas de “Influencia de las ondas electromagnéticas en la reducción de la viabilidad de los organismos procarióticos” e “Influencia de las ondas electromagnéticas sobre el agua”, presentes en la fundamentación teórica de este trabajo técnico, se concluye que la mejor manera de propagar ondas electromagnéticas en el agua es por medio del campo magnético y que los parámetros necesarios para desarrollar el prototipo electrónico, para el análisis experimental del control de algas mediante ondas electromagnéticas, son con un rango de operación de frecuencia variable de 900 Hz a 2000 Hz con un tiempo de funcionamiento de 3 a 20 horas.

Las muestras utilizadas en el análisis experimental del control de algas mediante ondas electromagnéticas fueron de agua de estanque ya contaminado con una gran población de algas, donde se encontró en 6 gotas de muestra 4 tipos de algas y por cada tipo de algas se observó más de 10 algas del mismo tipo, las algas encontradas son Euglenas, Closteriums, Eudorinas y Cianobacterias, no se consideró algas en desarrolló a partir de agua pura por el tiempo de cultivo de las algas que es un aproximado de 2 meses y los tratamiento que necesita el cultivo como es un sol permanente.

Se concluyó por lo visto en las Tablas 4.2 a la 4.14 el campo magnético tiene una gran influencia en el cuerpo de los microorganismos como las algas verdes (Euglenas, Closteriums) ya que las algas presentan agrupación, cambio de forma, decoloración, pérdida de movimiento y recuperación de las algas, donde luego de cumplir las características antes mencionadas las algas cumplen la característica de explosión, las principales características que demuestran que las algas mueren son el movimiento y la explosión, ya que si la algas siguen moviéndose estas tienden a recuperar su forma y color, por lo tanto la característica de explosión es el caso más satisfactorio.

Se concluyó por lo visto en las Tablas 4.15 el campo magnético tiene una gran influencia en el cuerpo de las algas verdes (Eudorinas) y algas verdes-azuladas (Cianobacterias) ya que estas algas se lesión y vacían el núcleo (rompen su pared celular) en las Eudorinas y existe muerte y liberación de toxinas al agua, en las algas verdes-azuladas lo cual provoca

una dispersión de la población de las algas como se muestra en la figura 40, la muestra sometida al campo magnético también presenta cambio de color en el agua a un marrón oscuro ya que estas algas liberan toxinas, por los cuerpos de los microorganismos que quedan presentes y estos llegan a descomponer el agua.

Se concluyó que la frecuencia necesaria para controlar y disminuir la población de algas verdes (Euglenas, Closteriums y Eudorinas) y algas verdes-azuladas (Cianobacterias), es de 1000 Hz con una densidad de campo magnético de 12.78 mT con una corriente de 10 mA y con un tiempo de exposición de 3 horas, en el caso de las Euglenas y Closteriums con un porcentaje de algas muertas del 27.4 %, en esta frecuencia fue la única que se cumplió la característica de explosión, en las cianobacterias y algas Eudorinas se necesitó un tiempo de tratamiento de 20 horas con la misma frecuencia de las algas anteriores, donde se obtuvo un porcentaje del 39.3 % de Eudorinas muertas, en esta frecuencia se rompió la pared celular de las algas y existió mayor dispersión de la población de las algas verdes-azuladas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda estudiar varios tipos de materiales para el desarrollo de un electroimán, estos materiales deben ser resistentes al agua, antioxidantes, y de gran resistencia a la corriente eléctrica ya que para pruebas a gran escala como en lagos artificiales o en recipientes comerciales como son cisternas de PVC más conocidas como “chanchitos” el prototipo como el electroimán deben soportar grandes cantidades de corriente debido a que se debe diseñar un electroimán con un gran alcance magnético, ser resistente a la intemperie y a ambientes extremos ya que casi siempre los contenedores de agua se encuentran en la parte externa del domicilio.

Se recomienda emplear microscopios de alta calidad para observar el comportamiento de los microorganismos al momento de ser sometidos a la influencia de los campos magnéticos debido a que cianobacterias y varios tipos de algas se pueden observar con una gran capacidad de aumento, se recomienda emplear el aumento de 400 para poder observar claramente los resultados sobre otros microorganismos como son bacterias, amebas, y demás microorganismos presentes en el agua que no se pueden observar con los microscopios convencionales existentes en el laboratorio de Ingeniería Ambiental.

Se recomienda usar muestras de agua ya contaminadas con algas y cianobacterias debido al tiempo de cultivo de algas y cianobacterias, se requiere demasiado tiempo con un aproximado de 2 meses y es necesario para el cultivo tener un ambiente controlado para la proliferación de las mismas.

Luego de realizar el tratamiento se recomienda emplear filtros de agua para quitar los residuos de microorganismos muertos presentes en el agua ya que estos cuerpos inertes pueden descomponerse y así ayudar a la proliferación de nuevas bacterias no deseables en el agua produciendo un nuevo episodio de contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

- acuario, L. g. (12 de enero de 2017). *La guía del acuario*. Obtenido de <https://laguiadelacuario.com/algas-en-el-acuario/control-y-eliminacion-de-algas-cianobacterias/?fbclid=IwAR3o4J89fsv50IdMYYWhhrydTZrIQbZ5Q1Ru7nAcRqA2oMcUwdjWYSgNkmU>
- agricultura, O. d. (5 de enero de 2016). *http://www.fao.org*. Obtenido de <http://www.fao.org>:
http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s02.htm
- agromatica. (4 de enero de 2019). *www.agromatica.es*. Obtenido de <https://www.agromatica.es/como-mantener-y-cuidar-tu-sistema-de-riego/>
- alldatasheet. (4 de Marzo de 2002). *alldatasheet*. Obtenido de <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/120818/ALLEGRO/A3503.html>
- Amazon. (5 de enero de 2018). *Amazon Business*. Obtenido de <https://www.amazon.es/sourcingmap®-elevación-eléctrica-electroimán-Celebración/dp/B01MS6RXJP>
- aquaecosolutions. (4 de febrero de 2017). *www.aquaecosolutions.com*. Obtenido de <https://aquaecosolutions.com/aireacion/>
- Cinjordiz, C. (24 de Febrero de 2018). *INFOOTEC.NET*. Obtenido de <https://www.infootec.net/arduino/>
- Doméstica, Z. (3 de enero de 2019). *www.zootecniadoméstica.com*. Obtenido de <http://www.zootecniadomestica.com/control-de-algas/>
- Gomez, D. C. (2015). *algas verde aules*. Mexico: Uiveridad Autonoma Del Estado De Meico.
- greenfuels. (4 de enero de 2019). *www.greenfuels.com*. Obtenido de <http://greenfuelsbio.com/wp-content/uploads/2019/01/Dossier-BEM14.pdf>

- iagua. (6 de enero de 2019). *iagua*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/noticias/lg-sonic/control-algas-embalses-agua-cruda-0>
- IMA. (10 de Enero de 2018). *IMA*. Obtenido de IMA: <https://www.imamagnets.com/electroimanes/>
- INEN. (5 de marzo de 2013). *www.inen.go.ec*. Obtenido de <http://sut.trabajo.gob.ec/publico/Normativa%20T%C3%A9cnica%20INEN/NTE%20INEN%202148%20-%20AGUA.%20PERMANGANATO%20DE%20POTASIO%20PARA%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS.%20REQUISITOS%20E%20INSPECCI%C3%93N.pdf>
- Izquierdo, A. (5 de enero de 2015). *www.fundacionaquae.org*. Obtenido de www.fundacionaquae.org: https://www.fundacionaquae.org/wiki-explora/41_algas/index.html
- Jan Barabas, M. Z. (8 de diciembre de 2016). *ieeexplore.ieee.org*. Obtenido de ieeexplore.ieee.org: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7772024>
- Leon, L. D. (4 de febrero de 2002). *http://imasd.fcien.edu.uy*. Obtenido de <http://imasd.fcien.edu.uy>: <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/floraciones.pdf>
- lgsonic. (3 de enero de 2019). *www.lgsonic.com*. Obtenido de <https://www.lgsonic.com/es/blogs-es/control-de-algas/>
- Manteca, S. (4 de Diciembre de 2013). *Proelectrotools*. Obtenido de <http://proelectrotools.blogspot.com/p/construir-un-gaussimetro-casero.html>
- Martínez, M. (10 de Abril de 2019). *STEREN*. Obtenido de <https://www.steren.com.mx/display-lcd-2x16.html>
- oxicom. (5 de febrero de 2019). *oxicomeration*. Obtenido de <http://aerationoxicom.com/aireacion-profunda-balsas-de-riego/>

- Pérez, R. d. (2010). *Efecto del agua tratada con campo magnético*. Santiago de Cuba : Universidad Oriente. Obtenido de karin.fq.uh.cu.
- Pérez, R. E. (24 de febrero de 2014). *repositorio.puce.edu.ec*. Obtenido de repositorio.puce.edu.ec:
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/9395/AISLAMIENTO%20Y%20EVALUACION%20DE%20LA%20VIABILIDAD%20DE%20CIANOBACTERIAS%20DE%20LA%20RIZOSFERA%20DE%20PLANTAS%20LEGUMINOSA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pradillo, B. (12 de septiembre de 2016). *www.iagua.es*. Obtenido de www.iagua.es:
<https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>
- Road, L. (5 de enero de 2016). *www.lenntech.es*. Obtenido de www.lenntech.es:
<https://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.htm>
- Ruiz-Reyes, J. (2015). *estudio de fotobioreactor de microalgas: sistema de monitoreo y simulación de estrategias de control*. Piura .
- Sandra Johana Hernández Jiménez, E. L. (19 de marzo de 2015). *www.scielo.org.co*. Obtenido de www.scielo.org.co:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-19352015000100008
- Sevilla, U. d. (12 de febrero de 2015). *opencourse ware*. Obtenido de <http://ocwus.us.es>:
http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_01.htm
- Tecmikro. (1 de Marzo de 2019). *Tecmikro*. Obtenido de <https://tecmikro.com>:
<https://tecmikro.com/arduino/442-a3503-sensor-lineal-de-efecto-hall.html>
- traxo.sa. (21 de febrero de 2011). *www.traxco.es*. Obtenido de <https://www.traxco.es>:
<https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/cloro-contra-algas-y-bacterias>

ANEXOS

Anexo A:

Arduino Uno

Al Arduino Uno se le puede considerar como una placa electrónica que se puede utilizar para la programación electrónica en código abierto, este es muy utilizado para realizar proyectos y realizar modificaciones tanto en software y hardware, las principales características de este Arduino Uno se puede observar en el siguiente enlace: <https://www.infootec.net/arduino/>

Tabla A. Características técnicas del Arduino Uno. (Cinjordiz, 2018)

Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje entrada recomendado	7 - 12 V
Voltaje entrada limitado	6 - 20 V
Microcontrolador	ATmega328P
Pines digital PWM I/O	6
Pines Digital I/O	14 (6 pines son una salida PWM)
Pines analógicos de entrada	6
Corriente DC para Pin 3.3 V	60 mA
Corriente DC por Pin I/O	20 mA
Velocidad de reloj	16 MHz
Peso	25 g
Anchura	53.4 mm
Longitud	68.6 mm

Memoria flash	32KB ATmega 328P de los que 0.5 KB son utilizados por el gestor de arranque
SRAM	2KB ATmega328P
EEPROM	1KB ATmega328P

En la figura A se presenta un diagrama de los pines que tiene un Arduino Uno.

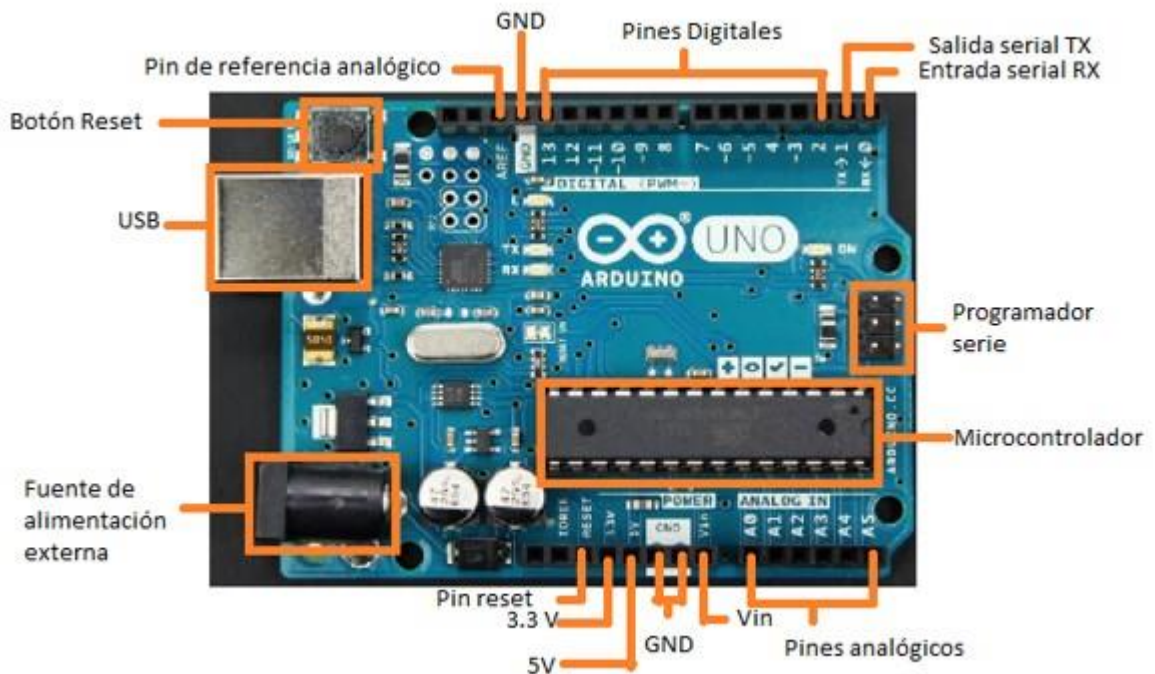


Figura A. Diagrama de pines de un Arduino Uno. (Cinjordiz, 2018)

Anexo B:

Electroimán

Un electroimán es un tipo de imán capaz de convertir energía eléctrica a energía mecánica, estos electroimanes tienen gran fuerza de retención, este tiene una fuerza magnética controlada con la ayuda de la intensidad de la energía eléctrica, gracias a esto se puede tener una potencia variable en el electroimán, por lo que este campo puede ser más fuerte

o más débil, también se tiene la ventaja de que el campo magnético puede ser encendido y apagado a voluntad en la figura B se presenta el electroimán WF-P30/22. (IMA, 2018)



Figura B. Electroimán WF-P30/22. (Amazon, 2018)

Las características principales del electroimán WF-P30/22 se puede observar en el siguiente enlace: <https://www.amazon.es/sourcingmap@-elevación-eléctrica-electroimán-Celebración/dp/B01MS6RXJP>

Tabla B. Características principales del electroimán WF-P30/22. (Amazon, 2018)

Voltaje	12 Vdc
Corriente	250 mA
Succión	100(10 kg) N
Material	Metal
Cable	20 cm

Anexo C:

Sensor lineal de efecto Hall (A3503)

El sensor Hall se utiliza para detectar campos magnéticos en el medio, este cuenta con una salida analógica, que tiene alta sensibilidad la cual permite la detección de los cambios existentes en la densidad del flujo magnético, cabe recalcar que el voltaje instantáneo de

salida es proporcional a la densidad del campo magnético, en la figura C se muestra el sensor Hall A3503. (Tecnimicro, 2019)



Figura C. Sensor Efecto Hall de Campo Magnético Lineal. (Tecnimicro, 2019)

Las características principales del Sensor Hall A3503 se puede observar en el siguiente enlace: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/120818/ALLEGRO/A3503.html>

Tabla C. Características del Sensor Hall A3503. (alldatasheet, 2002)

Voltaje de funcionamiento	4.5Min, 6.0 Max [V]
Corriente	9.0 Typ, 13 Max. [mA]
Sensibilidad	0.75 Min , 1.30 Typ, 1.75 Max [mV/G]
Ancho de banda	10 a 10K [Hz]
Resistencia de salida	50 Typ, 220 Max [Ω]

Anexo D:

Planos de la estructura principal del prototipo variador de frecuencia.

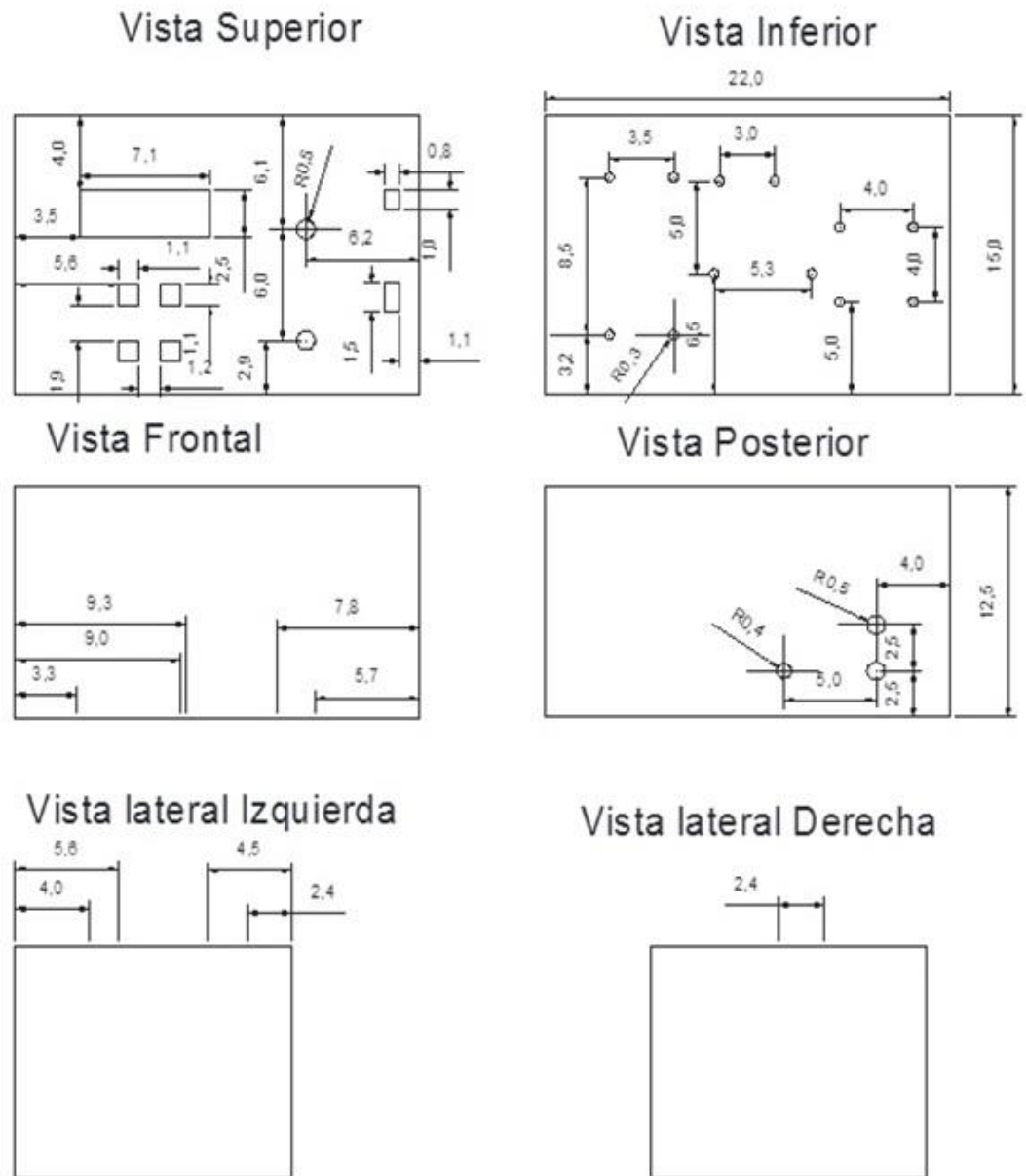


Figura D. Planos con vista frontal, superior y laterales del prototipo Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Anexo E:

Planos de la estructura metálica usado como soporte del generador de ondas electromagnéticas.

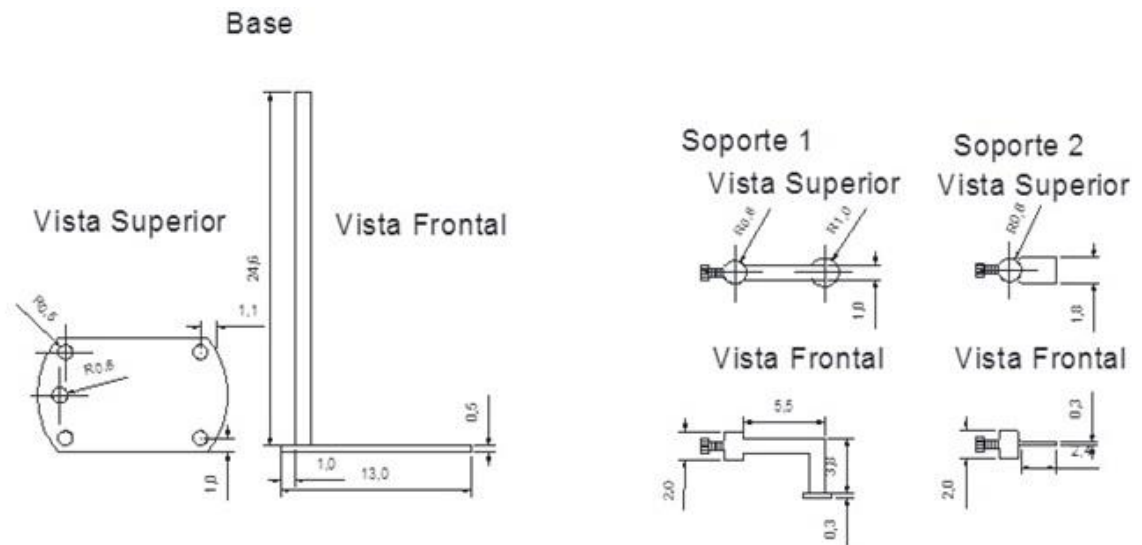


Figura E. Planos con vista frontal y superior de la estructura metálica Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Anexo F:

Fotografías de los resultados obtenidos durante el proceso de tratamiento de las algas con la primera preparación.

Fotografías del tratamiento de las algas a una frecuencia de 900 Hz.

Sin Tratar

Figura A. Sin tratar.

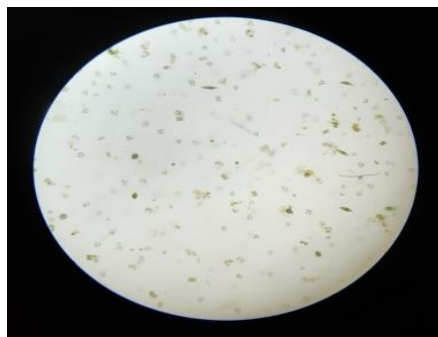


Figura B. Sin tratar.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 30 minutos

Figura A. F= 900 Hz a T=30 minutos.

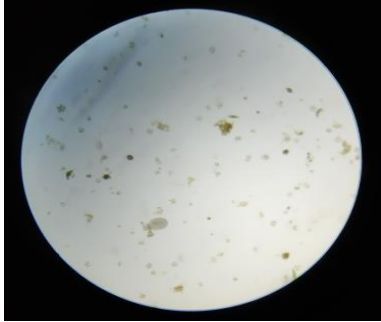
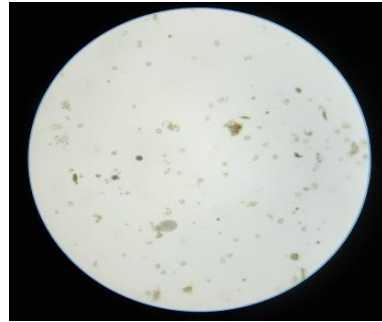


Figura B. F= 900 Hz a T=30 minutos.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T=1 Hora

Figura A. F= 900 Hz a T=1 Hora.



Figura B. F= 900 Hz a T=1 Hora.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 1 Hora y 30 minutos

Figura A. F= 900 Hz a T=1 H y 30 m.



Figura B. F= 900 Hz a T=1 H y 30 m.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas

Figura A. F= 900 Hz a T=2 H.



Figura B. F= 900 Hz a T=2 H.



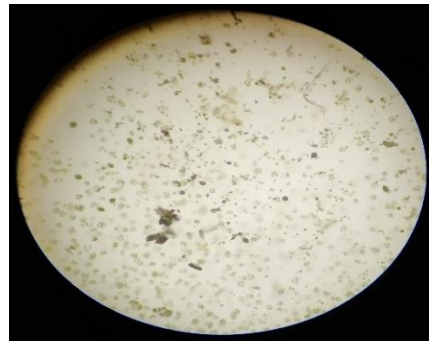
Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas y 30 minutos

Figura A. F= 900 Hz a T=2 H y 30m.



Figura B. F= 900 Hz a T=2 H y 30m.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 3 Horas

Figura A. F= 900 Hz a T=3 H.

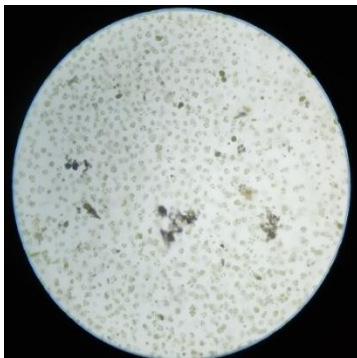


Figura B. F= 900 Hz a T=3 H.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Fotografías del tratamiento de las algas a una frecuencia de 1000 Hz

Sin tratar

Figura A. Sin tratar.



Figura B. Sin tratar.



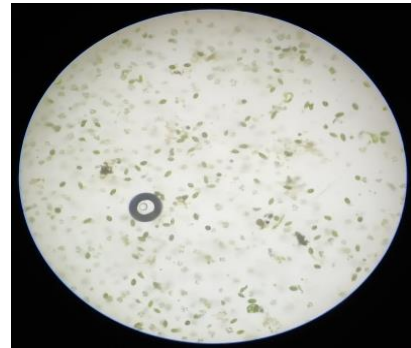
Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T=30 minutos

Figura A. F= 1K Hz a T=30 minutos.



Figura B. F= 1K Hz a T=30 minutos.



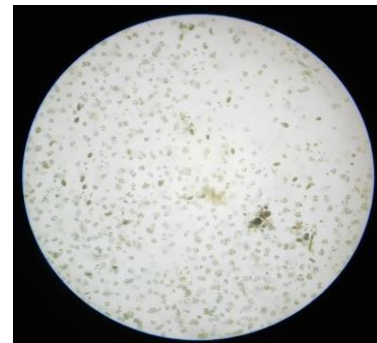
Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T=1 Hora

Figura A. F= 1K Hz a T=1 Hora.



Figura B. F= 1K Hz a T=1 Hora.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 1 Hora y 30 minutos

Figura A. F= 1K Hz a T=1 H y 30 m.



Figura B. F= 1K Hz a T=1 H y 30 m.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas

Figura A. F= 1K Hz a T=2 H.

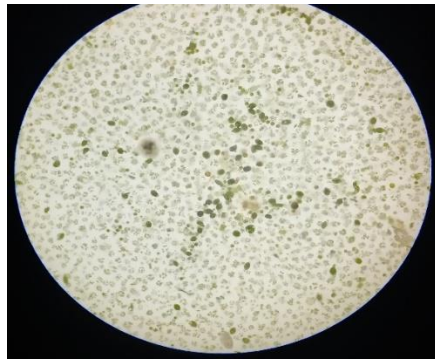


Figura B. F= 1K Hz a T=2 H.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas y 30 minutos

Figura A. F= 1K Hz a T=2 H y 30m.



Figura B. F= 1K Hz a T=2 H y 30m.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 3 Horas

Figura A. F= 1K Hz a T=3 H.

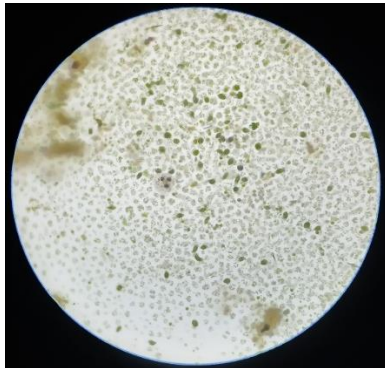
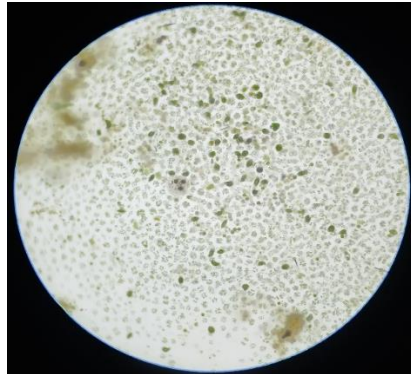


Figura B. F= 1K Hz a T=3 H.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Fotografías del tratamiento de las algas a una frecuencia de 1100 Hz

Sin tratar

Figura A. Sin tratar.

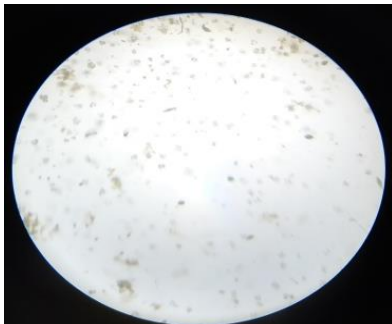
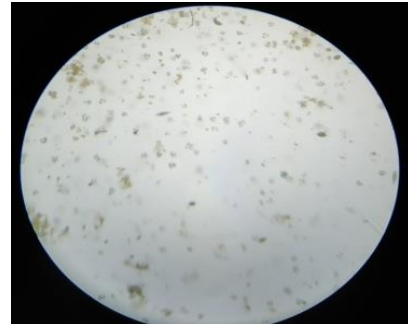


Figura B. Sin tratar.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T=30 minutos

Figura A. F= 1.1K Hz a T=30 minutos. Figura B. F= 1.1K Hz a T=30 minutos.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T=1 Hora

Figura A. F= 1.1K Hz a T=1 Hora.



Figura B. F= 1.1K Hz a T=1 Hora.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 1 Hora y 30 minutos

Figura A. F= 1.1K Hz a T=1 H y 30 m. Figura B. F= 1.1K Hz a T=1 H y 30 m.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas

Figura A. F= 1.1K Hz a T=2 H.



Figura B. F= 1.1K Hz a T=2 H.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas y 30 minutos

Figura A. F= 1.1K Hz a T=2 H y 30m.



Figura B. F= 1.1K Hz a T=2 H y 30m.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 3 Horas

Figura A. F= 1.1K Hz a T=3 H.



Figura B. F= 1.1K Hz a T=3 H.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Fotografías del tratamiento de las algas a una frecuencia de 1200 Hz

Sin tratar

Figura A. Sin tratar.



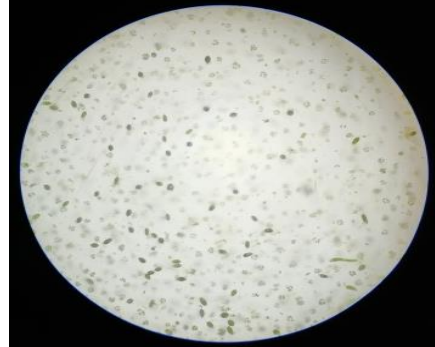
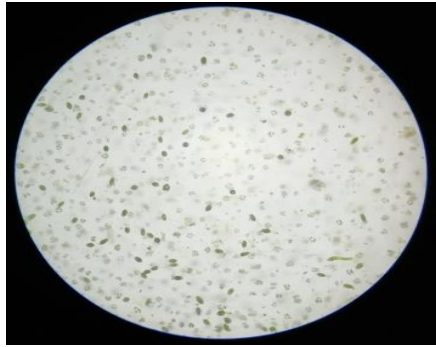
Figura B. Sin tratar.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T=30 minutos

Figura A. F= 1.2K Hz a T=30 minutos. **Figura B. F= 1.2K Hz a T=30 minutos.**

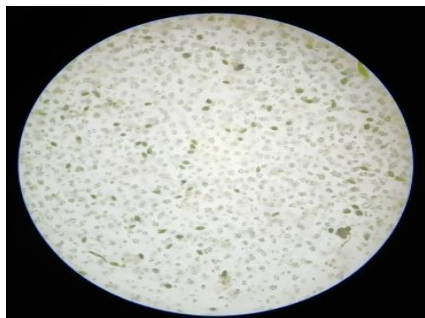


Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T=1 Hora

Figura A. F= 1.2K Hz a T=1 Hora.

Figura B. F= 1.2K Hz a T=1 Hora.

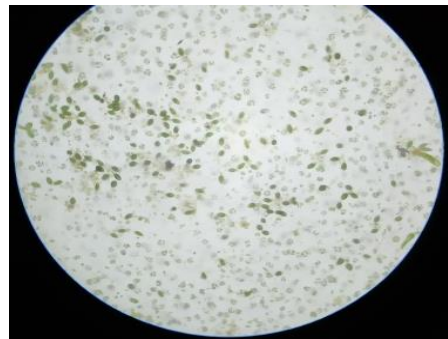
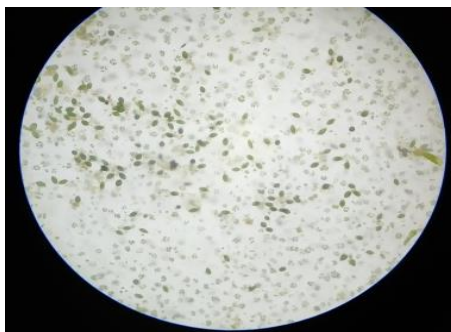


Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 1 Hora y 30 minutos

Figura A. F= 1.2K Hz a T=1 H y 30 m.

Figura B. F= 1.2K Hz a T=1 H y 30 m.



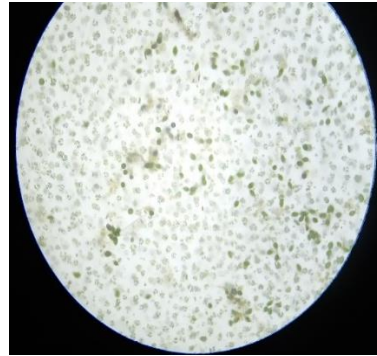
Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas

Figura A. F= 1.2K Hz a T=2 H.



Figura B. F= 1.2K Hz a T=2 H.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas y 30 minutos

Figura A. F= 1.2K Hz a T=2 H y 30m.

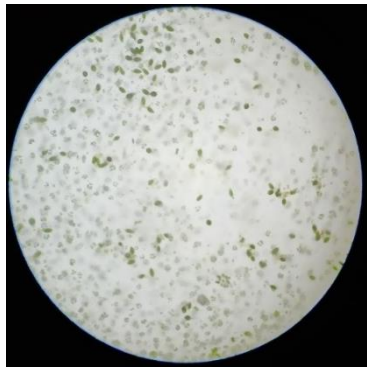
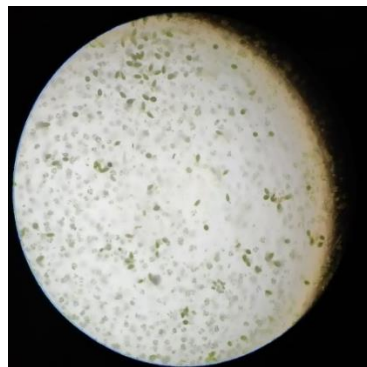


Figura B. F= 1.2K Hz a T=2 H y 30m.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 3 Horas

Figura A. F= 1.2K Hz a T=3 H.



Figura B. F= 1.2K Hz a T=3 H.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

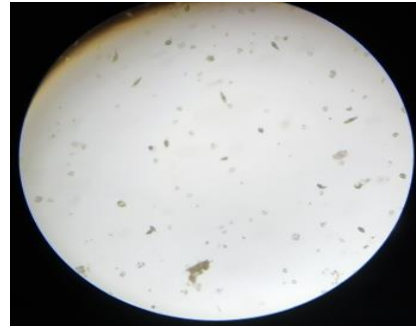
Fotografías del tratamiento de las algas a una frecuencia de 1240 Hz

Sin tratar

Figura A. Sin tratar.



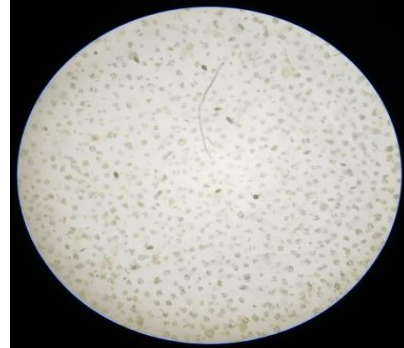
Figura B. Sin tratar.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T=30 minutos

Figura A. F= 1.24K Hz a T=30 minutos. Figura B.F=1.24KHz a T=30 minutos.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T=1 Hora

Figura A. F= 1.24K Hz a T=1 Hora.

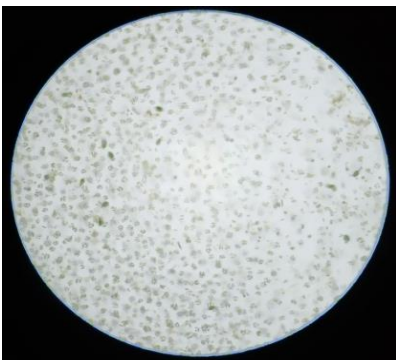


Figura B. F= 1.24K Hz a T=1 Hora.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 1 Hora y 30 minutos

Figura A. F= 1.24K Hz a T=1 H y 30 m. Figura B. F=1.24KHz a T=1 H y 30 m.

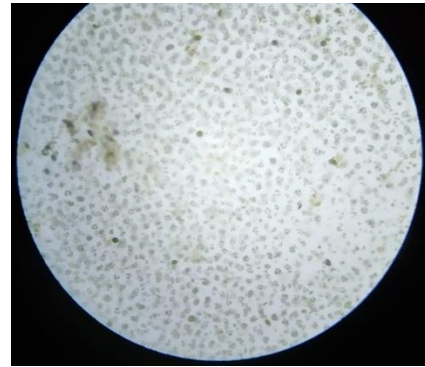


Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas

Figura A. F= 1.24K Hz a T=2 H.

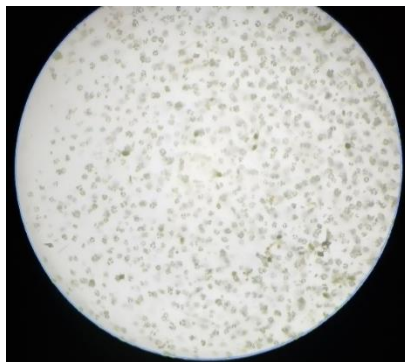
Figura B. F= 1.24K Hz a T=2 H.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas y 30 minutos

Figura A. F= 1.24K Hz a T=2 H y 30m. Figura B. F=1.24K Hz a T=2 H y 30m.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 3 Horas

Figura A. F= 1.24K Hz a T=3 H.

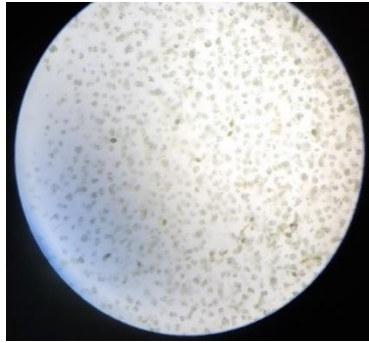
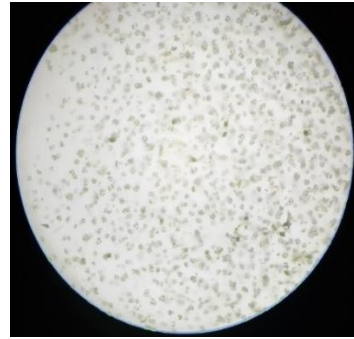


Figura B. F= 1.24K Hz a T=3 H.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Fotografías del tratamiento de las algas a una frecuencia de 2000 Hz

Sin tratar

Figura A. Sin tratar.

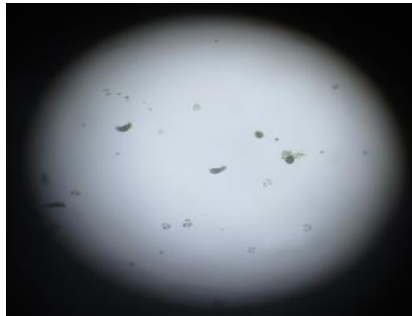


Figura B. Sin tratar.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T=30 minutos

Figura A. F= 2 K Hz a T=30 minutos.

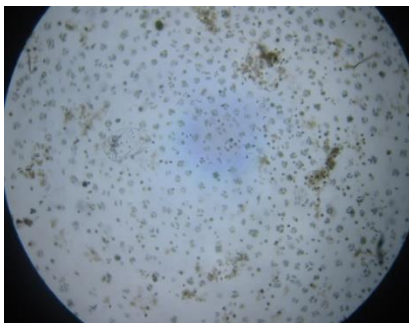
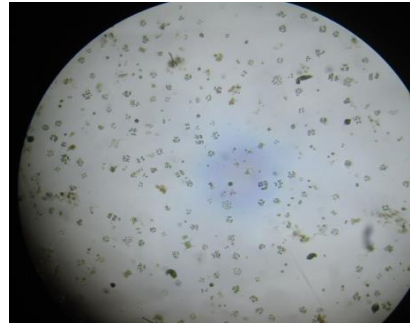


Figura B.F=2 KHz a T=30 minutos.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T=1 Hora

Figura A. F= 2 K Hz a T=1 Hora.

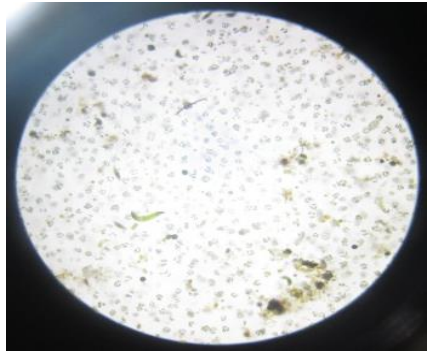
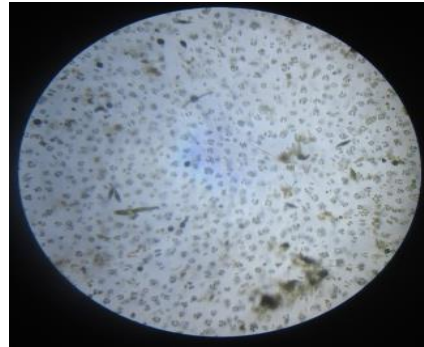


Figura B. F= 2 K Hz a T=1 Hora.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 1 Hora y 30 minutos

Figura A. F= 2 K Hz a T=1 H y 30 m.

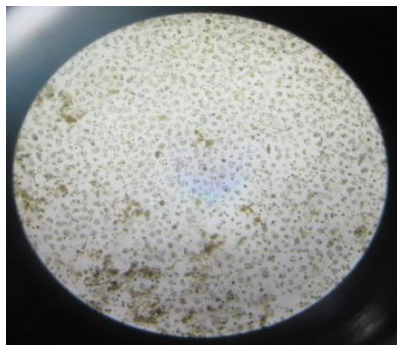
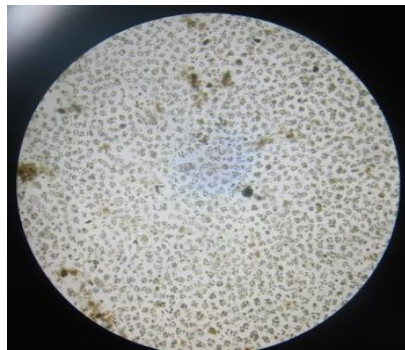


Figura B. F=2 KHz a T=1 H y 30 m.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas

Figura A. F= 2 K Hz a T=2 H.

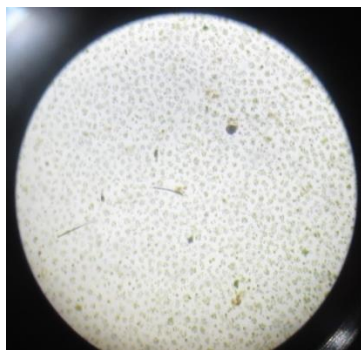
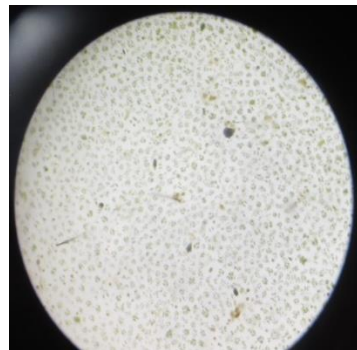


Figura B. F= 2 K Hz a T=2 H.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 2 Horas y 30 minutos

Figura A. F= 2 K Hz a T=2 H y 30m.



Figura B. F=2 K Hz a T=2 H y 30m.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

T= 3 Horas

Figura A. F= 2K Hz a T=3 H.

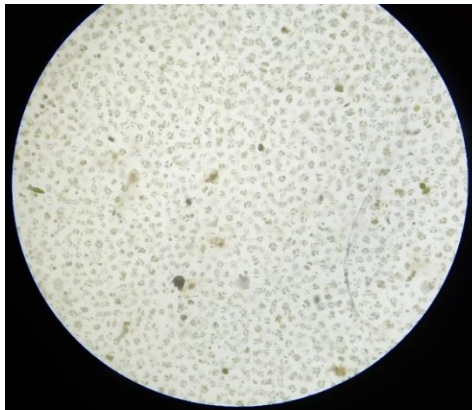


Figura B. F= 2K Hz a T=3 H.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Anexo G:

Fotografías de los resultados obtenidos durante el proceso de tratamiento de las algas con la segunda preparación.

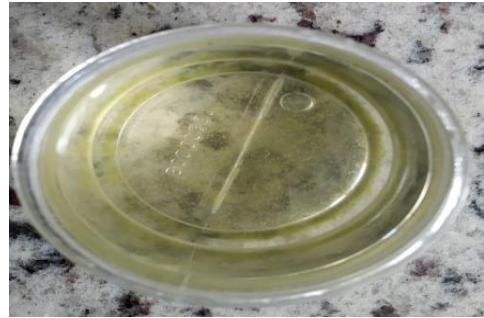
Fotografías del tratamiento de las algas a una frecuencia de 1000 Hz

Sin tratar

Figura A. Sin tratar.



Figura B. Sin tratar.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Después de 20 Horas

Figura A. F=1K Hz a 20 Horas

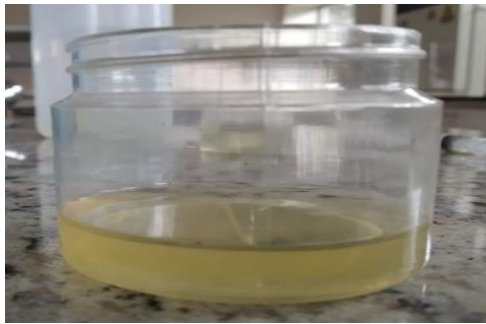
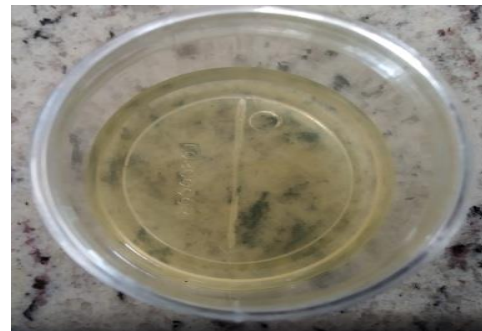


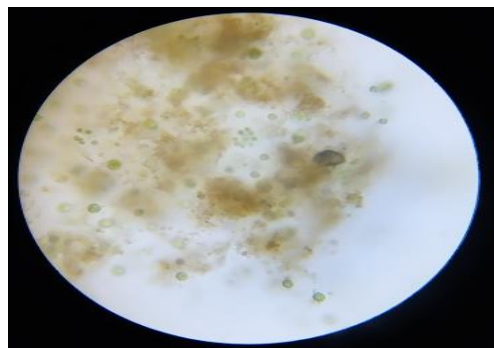
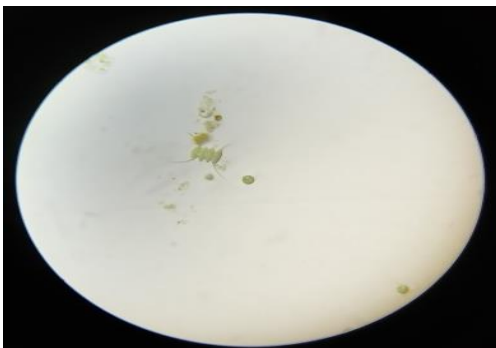
Figura B. F=1K Hz a 20 Horas



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Después de 20 Horas visto microscópicamente

Figura A. F=1KHz microscópicamente Figura B. F=1KHz microscópicamente



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Fotografías del tratamiento de las algas a una frecuencia de 2000 Hz

Sin tratar

Figura A. Sin tratar.



Figura B. Sin tratar.



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Después de 20 Horas

Figura A. F=2K Hz a 20 Horas



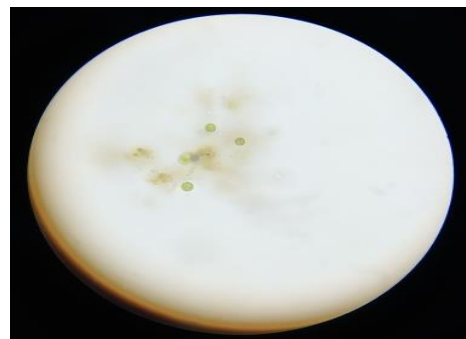
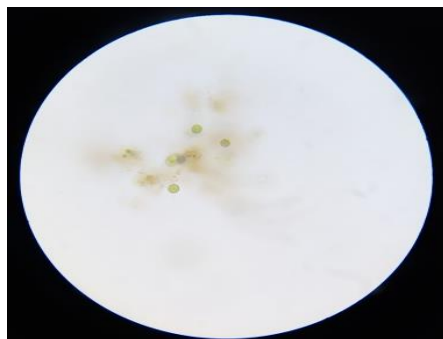
Figura B. F=2K Hz a 20 Horas



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Después de 20 Horas visto microscópicamente

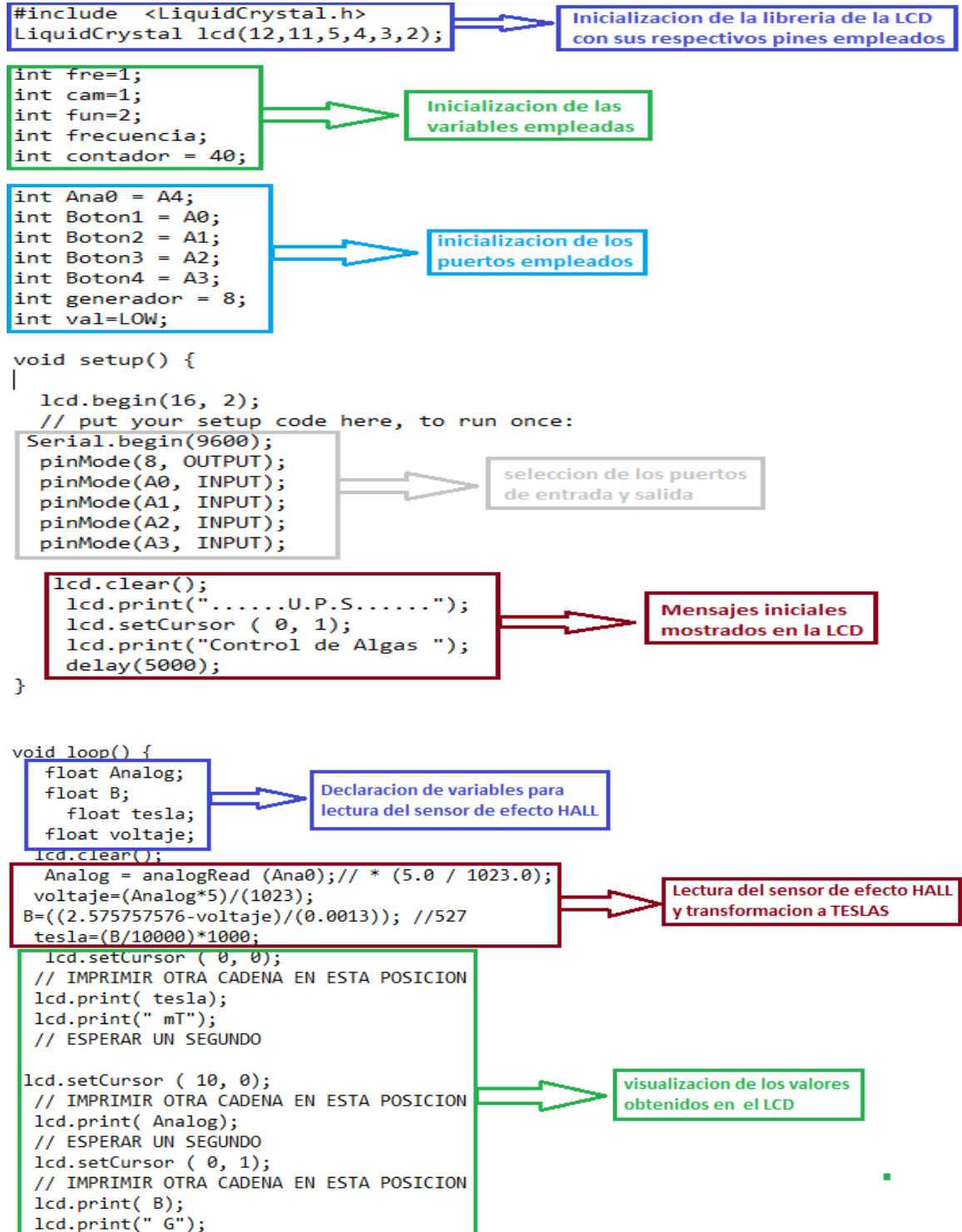
Figura A. F=2KHz microscópicamente **Figura B. F=2KHz microscópicamente**



Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Anexo H:

A continuación, se presenta la descripción de la programación empleada en el Arduino para el desarrollo y funcionamiento del prototipo generador de campo magnético.



```
if( digitalRead(Boton4) == HIGH){
delay(500);
fun++;
}
```

Lectura del botón 4 el cual permite iniciar o parar el generador de frecuencia.

```
if( fun == 1){
frecuencia = contador;
tone(8,frecuencia);
lcd.setCursor ( 10, 1);
lcd.print(contador);
lcd.print("Hz");
}
```

Inicio del generador de frecuencia

```
if( fun == 2){
//mensaje display
if( digitalRead(Boton3) == HIGH){
delay(500);
cam++;
}
if( cam == 1){
if( digitalRead(Boton1) == HIGH){
delay(500);
fre++;
}
if( fre == 1){
if( digitalRead(Boton2) == HIGH){
delay(500);
contador =contador + 10;
}}
if( fre == 2){
if( digitalRead(Boton2) == HIGH){
delay(500);
contador =contador + 100;
}}
if( fre == 3){
fre=1;
}
}
}
```

Variación de frecuencia de forma ascendente con parámetros de 10 en 10 o de 100 en 100

```
if( cam == 2){
if( digitalRead(Boton1) == HIGH){
delay(500);
fre++;
}
if( fre == 1){
if( digitalRead(Boton2) == HIGH){
delay(500);
contador =contador - 10;
}}
if( fre == 2){
if( digitalRead(Boton2) == HIGH){
delay(500);
contador =contador - 100;
}}
if( fre == 3){
fre=1;
}
}
}
```

Variación de frecuencia de forma descendente con parámetros de 10 en 10 o de 100 en 100

```
if( cam == 3){
cam =1;
}
lcd.setCursor ( 10, 1);
lcd.print(contador);
lcd.print(" Hz");
}
if( fun == 3){
fun =1;
}
}
delay (150);
}
```

Reinicio de variables

Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Anexo I:

A continuación, se presenta un manual de usuario con la descripción de sus controles, entradas y salidas para su correcto funcionamiento y evitar daños en el prototipo. En la parte superior se puede observar los siguientes controles tal como se observa en la figura I.1.



Figura I.1. Controles de la parte superior del prototipo. Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

Descripción de los controles del prototipo parte superior:

- **Potenciómetro 1.-** Mediante este potenciómetro el usuario puede variar la intensidad de luminosidad del LCD 16x2 acorde de sus necesidades.
- **Potenciómetro 2.-** Mediante este potenciómetro el usuario puede controlar el nivel de corriente según sea la necesidad o la aplicación que realice.
- **Botón 1.-** Mediante el botón 1 el usuario puede modificar los pasos de cambio de frecuencia con un valor de 10 en 10 o de 100 en 100 dependiendo de sus necesidades.
- **Botón 2.-** Mediante este botón el usuario puede cambiar el valor de la frecuencia dependiendo del valor seleccionado con el botón 1.
- **Botón 3.-** Mediante este botón el usuario puede seleccionar si los pasos seleccionados son positivos o negativos para poder subir o bajar la frecuencia.
- **Botón 4.-** Mediante este botón el usuario puede poner en marcha el generador de frecuencia con el valor seleccionado o puede parar el generador y cambiar el valor de la frecuencia dependiendo las necesidades del mismo.
- **LCD 16x2.-** Mediante esta interfaz gráfica el usuario puede observar los diferentes parámetros como son los valores de frecuencia y campo magnético generado, además se muestran los mensajes iniciales de presentación.
- **Bornera de dos puertos.** – En esta bornera el usuario debe colocar el electroimán que cumpla las características de voltaje y corriente para el cual fue diseñado el prototipo, en este caso se recomienda usar el electroimán WF-P30/22 o de menor fuerza de succión.
- **Bornera de tres puertos.** - En esta bornera el usuario debe conectar el sensor de efecto hall ya que mediante esta bornera el sensor se integra directamente a los puertos del Arduino, no se debe conectar ningún elemento ajeno al sensor ya que podría causar daños en los puertos del Arduino.

En la parte posterior se puede observar las siguientes entradas descritas en la figura I.2.



Figura I.2. Conectores de la parte posterior del prototipo Elaborado por: John Almache, Edwin Andrango.

- **Dos borneras.** - En la parte posterior se puede observar dos borneras una de color rojo y otra de color negro en la cuales se debe conectar la fuente variable de 0 a 15 Vdc, la bornera de color rojo es para la entrada positiva mientras que la bornera de color negro es para la entrada negativa.
- **Cable USB.** - Mediante este cable USB el usuario puede conectar la fuente de 5 voltios fija, también puede conectar al software de Arduino y realizar las modificaciones que vea necesarias para mejorar el funcionamiento del prototipo, no se recomienda modificar la programación si no tiene conocimientos del funcionamiento del prototipo y más aún del lenguaje de programación y del entorno de Arduino.

Procedimiento de operación

Para someter una muestra a la radiación de campo magnético mediante este prototipo en primer lugar se debe conectar el electroimán y el sensor de efecto hall a sus respectivas borneras luego el prototipo se conecta a la fuente externa de 5 Vdc o a una PC, luego se debe conectar la fuente variable de 15 Vdc tomando la precaución que se encuentre en el

nivel más bajo, se debe dejar que en el LCD terminen los mensajes de presentación, se procede a seleccionar la frecuencia de operación combinando los botones 1, 2, 3 guiándose de la descripción donde se describe cada uno de ellos, al seleccionar la frecuencia de operación se presiona el botón 4 para poner en marcha la irradiación del campo magnético sobre una muestra de agua, si se quiere cambiar la frecuencia de operación se vuelve a presionar el botón 4 y se empela la combinación de botones 1, 2, 3 para seleccionar el valor de frecuencia una vez encontrado el valor deseado se presiona el botón 4 y listo la frecuencia de radiación habrá cambiado, con el potenciómetro 2 se selecciona el valor de corriente dependiendo la cantidad de campo magnético necesario, para mantener fija la muestra de agua y el electroimán se debe colocar en la estructura metálica que tiene un brazo móvil ajustable en el eje y para seleccionar la altura adecuada del electroimán y la muestra de agua.