



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA
GUTIÉRREZ**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 08 de enero de 2018



REPORTE FINAL DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**“REMOCIÓN DE ALGAS MEDIANTE
ELECTROFLOTACIÓN”**

**EMPRESA:
INSTITUTO MEXICANO DE
TECNOLOGÍA DEL AGUA**

INTEGRANTE (S):

No. CONTROL	NOMBRE	SEMESTRE
13270766	NAYLA NATALY SANCHEZ DEL RIO	IX

PERIODO:

21 DE AGOSTO AL 08 DE DICIEMBRE DEL 2017

HORAS:

625

CARRERA:

INGENIERÍA BIOQUÍMICA

ASESOR INTERNO:

**DR. JOSÉ HUMBERTO CATAÑÓN
GONZÁLEZ**

ASESOR EXTERNO:

DRA. ALEJANDRA MARTÍN DOMÍNGUEZ

Índice

	Pág.
1. Introducción	1
2. Justificación	2
3. Objetivos.....	3
3.1. General	3
3.2. Específicos.....	3
4. Caracterización del área en que participó.....	4
4.1. Instituto Mexicano De tecnología del Agua (IMTA)	4
4.1.1. Misión	5
4.1.2. Visión.....	5
4.2. Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua	5
4.3. Laboratorio de Potabilización	6
4.3.1. Servicios	6
4.3.2. Actividades principales	6
4.3.3. Infraestructura principal	7
5. Problemas a resolver	8
6. Alcances y limitaciones.....	8
6.1. Alcances.....	8
6.2. Limitaciones	8
7. Fundamento teórico	9
8. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas	11
8.1. Caracterización de la fuente de estudio	11
8.2. Análisis de la calidad del agua inicial	12
8.3. Prueba de jarras.....	13
8.4. Características la columna de electroflotación	13
8.5. Diseño del experimento.....	15
8.6. Variables de respuesta.....	16
9. Resultados, planos, gráficas, prototipos y programas	17

9.1. Calidad del agua inicial	17
9.2. Prueba de jarras.....	17
9.2.1. Dosis óptima de coagulante	17
9.2.2. Dosis óptima de polímero	18
9.2.3. pH óptimo de operación.....	20
9.3. Condiciones de operación de la columna de electroflotación.....	22
9.4. Evaluación del sistema de electroflotación en la remoción de algas.....	23
10. Conclusiones y recomendaciones	25
11. Referencias bibliográficas y virtuales	27
12. Anexos	29

1. Introducción

Los cuerpos de agua se ven cada día más afectados por las actividades humanas. Actualmente muchos de ellos se caracterizan por presentar contaminación de tipo orgánico y por la presencia de algas de diferentes grupos, entre las que destacan las cianobacterias (algas verde azules). Los florecimientos o crecimientos excesivos de algas se relacionan con problemas de olor y sabor, y éstos se presentan generalmente una o dos veces por año (verano y otoño). (Dittman y Wiegand 2006).

En las zonas tropicales y semitropicales, las algas pueden crecer excesivamente bajo un alto contenido de nutrientes en las aguas superficiales, especialmente en lagos y depósitos de agua. Las algas en el agua son una preocupación mundial porque afectan negativamente la calidad del agua potable y el proceso de tratamiento del agua. (Ma y Liu, 2002)

En el tratamiento del agua potable, la coagulación convencional sigue siendo el principal tratamiento para la eliminación de algas. Sin embargo, debido al pequeño tamaño y la baja gravedad específica, es difícil eliminar las algas de forma efectiva del proceso tradicional de tratamiento de agua. Por lo tanto, varias sustancias químicas de preoxidación, incluyendo ozono, dióxido de cloro, cloro y permanganato, se han empleado para mejorar la eliminación de algas en el proceso de coagulación. (Briley y Knappe, 2002)

Para remover las células completas de las cianobacterias, se han empleado métodos convencionales como coagulación/floculación-sedimentación-filtración utilizando sulfato de aluminio como floculante (Chow *et al.*, 1998), sin embargo, el método que mejores resultados ha demostrado para la remoción de algas es el proceso de flotación por aire disuelto, con él se ha demostrado que se pueden eliminar las algas hasta en un 95%. (Chen *et al.*, 1998)

2. Justificación

En México se utiliza tradicionalmente tecnologías convencionales para el tratamiento de aguas residuales, una de ellas el proceso físico químico, basada en el uso de coagulantes como el Sulfato de Aluminio y polímeros sintéticos (policloruro de aluminio), así como algunas sales de fierro. Este proceso utiliza grandes cantidades de productos químicos los cuales encarecen el tratamiento, además, en algunas plantas de tratamiento no se aplica la dosis óptima de estos coagulantes o polímeros, realizando una sobredosificación de estos productos y su uso indiscriminado puede incrementar la concentración de aluminio en el agua tratada; ocasionando problemas para la salud.

Además, las algas presentes en los cuerpos de agua, se han considerado como un problema usual, la presencia y proliferación de algas y sus endotoxinas pueden causar problemas en equipos y ductos de distribución de una planta potabilizadora de agua, como el taponamiento u olores indeseables. (Codony, *et al.*, 2003).

Las algas y sus endotoxinas pueden, de manera indirecta, causar agotamiento del oxígeno contenido en las aguas naturales, produciendo como efecto primario la eutroficación (alto contenido de nutrientes orgánicos e inorgánicos que contienen Fósforo y Nitrógeno en varias de sus formas). El efecto secundario incluye la muerte paulatina de los organismos acuáticos con una colonización total del cuerpo de agua que eventualmente se convertirá en un pantano, para finalmente desaparecer (Dart, 1985).

La electroflotación es una solución al problema, la cual es una tecnología que no utiliza coagulantes químicos. En él se generan electrolíticamente burbujas de gas en el interior de la suspensión que se unen a las partículas sólidas provocando el ascenso de las mismas a la superficie. Como las burbujas son muy pequeñas, tienen una elevada superficie específica siendo por tanto muy eficaces para suspensiones de partículas finas por ejemplo las algas.

3. Objetivos

3.1. General

Evaluar la eficiencia de la electroflotación para remover algas presentes en un cuerpo de agua léntico.

3.2. Específicos

- Caracterizar el agua cruda para conocer su calidad inicial.
- Proponer y establecer el diseño de una columna de electroflotación para la remoción de algas.
- Identificar las variables de medición que permitan la evaluación de la eficiencia del proceso de electroflotación.
- Analizar mediante un diseño experimental la eficiencia en el mejoramiento de la calidad del agua del sistema de electroflotación propuesto.
- Determinar si el tipo de polímero tiene influencia en la remoción de algas y partículas suspendidas.
- Definir la dosis adecuada de aluminio que garantice una mayor eficiencia del proceso.
- Identificar la velocidad de flujo adecuada para el ingreso del influente que garantice una mejor eficiencia operacional.

4. Caracterización del área en que participó

La residencia profesional se llevó a cabo en Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) con sede en Jiutepec, Morelos, México. La experimentación se realizó en el laboratorio de la subcoordinación de Potabilización que forma parte de la Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua.

4.1. Instituto Mexicano De tecnología del Agua (IMTA)

El IMTA es un organismo público descentralizado que se aboca a enfrentar los retos nacionales y regionales asociados con el manejo del agua y a perfilar nuevos enfoques en materia de investigación y desarrollo tecnológico para proteger el recurso y asignarlo de manera eficiente y equitativa entre los distintos usuarios.

Los objetivos del Instituto son:

- Contribuir a la gestión sustentable del agua a través del conocimiento, la tecnología, la formación de recursos humanos y la innovación.
- Incorporar al sector hídrico en la sociedad del conocimiento.
- Crear un alto valor agregado para las instituciones del sector hídrico mediante el conocimiento, la creación y adaptación de tecnologías y el suministro de servicios tecnológicos altamente especializados.
- Impulsar el desarrollo de la ciencia y la tecnología del agua, en especial mediante la formación de personal altamente capacitado a nivel especialización y posgrado.

Para tal fin, el IMTA dispone de capacidades y competencias específicas que le dan una ventaja competitiva y le permiten agregar valor a los productos y servicios que ofrece a sus clientes y usuarios. Entre estas competencias destacan las siguientes:

- Más de 300 especialistas altamente capacitados en la atención de la problemática prioritaria del sector, muchos de ellos con más de 20 años de experiencia.
- Enfoque integral y multidisciplinario de los problemas del agua, pues sus recursos humanos e infraestructura cubren un amplio espectro de especialidades.
- Infraestructura de laboratorios, software y documental única en México.
- Ventaja competitiva a partir de las atribuciones que le otorgan el Decreto de Creación y la Ley de Aguas Nacionales.
- Posibilidades de participar en el establecimiento de las prioridades y metas nacionales del sector y de constituirse en el principal asesor tecnológico de la Comisión Nacional del Agua.

4.1.1. Misión

Producir, implantar y diseminar conocimiento, tecnología e innovación para la gestión sustentable del agua en México.

4.1.2. Visión

Seremos una institución líder y de clase mundial que propicie la transformación del sector hídrico e impulse la gestión sustentable del recurso agua en el país.

4.2. Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua

La coordinación tiene como objetivo el generar y conducir el conocimiento hacia la investigación, desarrollo y transferencia de tecnologías para la evolución ambiental y el mejoramiento y preservación de la calidad del agua y sus recursos naturales asociados, a fin de colaborar con el desarrollo sustentable.

4.3. Laboratorio de Potabilización

4.3.1. Servicios

- Realización de estudios especializados y desarrollo de tecnologías de proceso.
- Evaluación de equipos y productos para la potabilización, desinfección y acondicionamiento de agua, tanto para uso y consumo humano, como para la industria.
- Investigación, desarrollo y adaptación de tecnología para la remoción de contaminantes específicos en el agua como, por ejemplo: arsénico, hierro, manganeso, flúor y sílice, entre otros.
- Realización de pruebas en laboratorio y campo para seleccionar la mejor opción de tratamiento.

4.3.2. Actividades principales

- Desarrollo, adaptación, servicios tecnológicos, transferencia y capacitación en procesos de potabilización de agua para uso y consumo humano, así como acondicionamiento de agua para la industrial.

- Evaluación de riesgos a la salud asociados a la contaminación del agua
- Evaluación de reactivos, equipos, membranas y procesos utilizados para la potabilización y acondicionamiento de agua.
- Pruebas de tratabilidad de agua y de sus subproductos (físicoquímicas y con procesos de membranas)
- Selección del mejor proceso según el tipo de agua.
- Diseño, seguimiento a la construcción y puesta en marcha de sistemas de potabilización.
- Evaluación de plantas potabilizadoras

4.3.3. Infraestructura principal

El laboratorio de potabilización cuenta con la siguiente infraestructura:

- Laboratorio de membranas para tratamiento de agua, con equipos de 1 L/s de microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa
- Laboratorio para autopsia y pruebas destructivas de membranas con equipo de fluorescencia de Rx y banco para pruebas no destructivas
- Laboratorio de procesos físicoquímicos (SGC) que cuenta con equipos para pruebas de jarras, equipos portátiles de análisis químicos de agua y plantas piloto de 1 L/s para tratamientos convencionales o con electrocoagulación
- Equipo y accesorios para el montaje de procesos de potabilización *in situ*

5. Problemas a resolver

- Mejorar la estética del cuerpo de agua al remover las algas presentes.
- Contaminación por químicos utilizados en la coagulación convencional.
- Ahorro de espacio, porque no necesita sedimentar ni agitar.
- Implementar una la dosificación de aluminio constante, debido a que no necesita cambiar como en el proceso convencional

6. Alcances y limitaciones

6.1. Alcances

- Se realizaron pruebas semipiloto donde se puede evaluar el proceso
- El proceso se puede escalar

6.2. Limitaciones

- Traslado de las muestras de agua al IMTA, debido a que no se pudo llevar el equipo de electrocoagulación al campo, por cuestiones de seguridad.
- Durante el 19 de septiembre de 2017, se suscitó un sismo en México, provocando suspensión de labores dentro del "IMTA" y la reparación de equipo de electrocoagulación.
- Debido a que el periodo de la estancia de la residencia fue corto, la evaluación del sistema no fue tan profunda como se debería.

7. Fundamento teórico

El sistema de electroflotación se realiza en un tanque por el que pasa la corriente a tratar. En el fondo del tanque, se localizan los electrodos de modo que el cátodo queda por encima del ánodo. A través de estos electrodos, circula una corriente eléctrica que provoca la electrólisis del agua con la consiguiente formación de pequeñas burbujas de oxígeno (en el ánodo) y de hidrógeno (en el cátodo). (Chen 2004)

Dichas burbujas son preferibles pequeñas ya que proporcionan una mayor superficie de contacto para la adsorción de las partículas a eliminar. Las burbujas arrastrarán en su trayectoria ascendente hacia la superficie, las pequeñas partículas que se encuentren en suspensión en el efluente a tratar. Para favorecer la eliminación de los contaminantes se utilizan floculantes antes de tratar el agua en el sistema de electroflotación. (Chen, 2000) La eficiencia del proceso de flotación está fundamentalmente determinada por el tamaño de las burbujas generadas, la cual el 90 % de las burbujas generadas en electroflotación tienen un tamaño entre 15 y 45 μm .

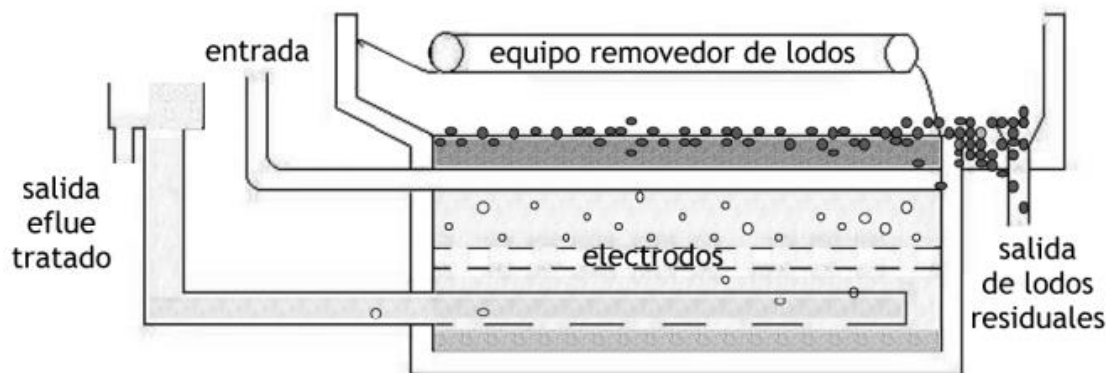
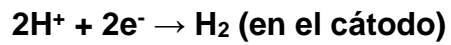
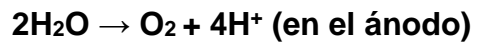


Figura 1. Representación esquemática de una unidad de Electroflotación.

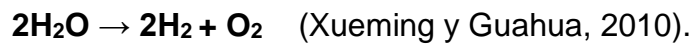
7.1. Reacciones Electroquímicas

La electrolisis es una tecnología electroquímica mediante la que se provoca un cambio químico en un líquido por intervención de la energía eléctrica.

En la Electroflotación, las burbujas de oxígeno y el hidrógeno se generan en un ánodo y un cátodo, respectivamente, como a continuación:



La reacción total es:



8. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

8.1. Caracterización de la fuente de estudio

El influente de este proyecto fue obtenido (bajo previa autorización de la administración correspondiente) del lago del Parque Alameda “Luis Donaldo Colosio” de la Ciudad de Cuernavaca, Morelos, México. El cual se encuentra ubicado en Boulevard Paseo Cuauhnáhuac km 5. 1.62, 62460. $18^{\circ}55'06.6''\text{n}$ $99^{\circ}11'27.6''\text{w}$

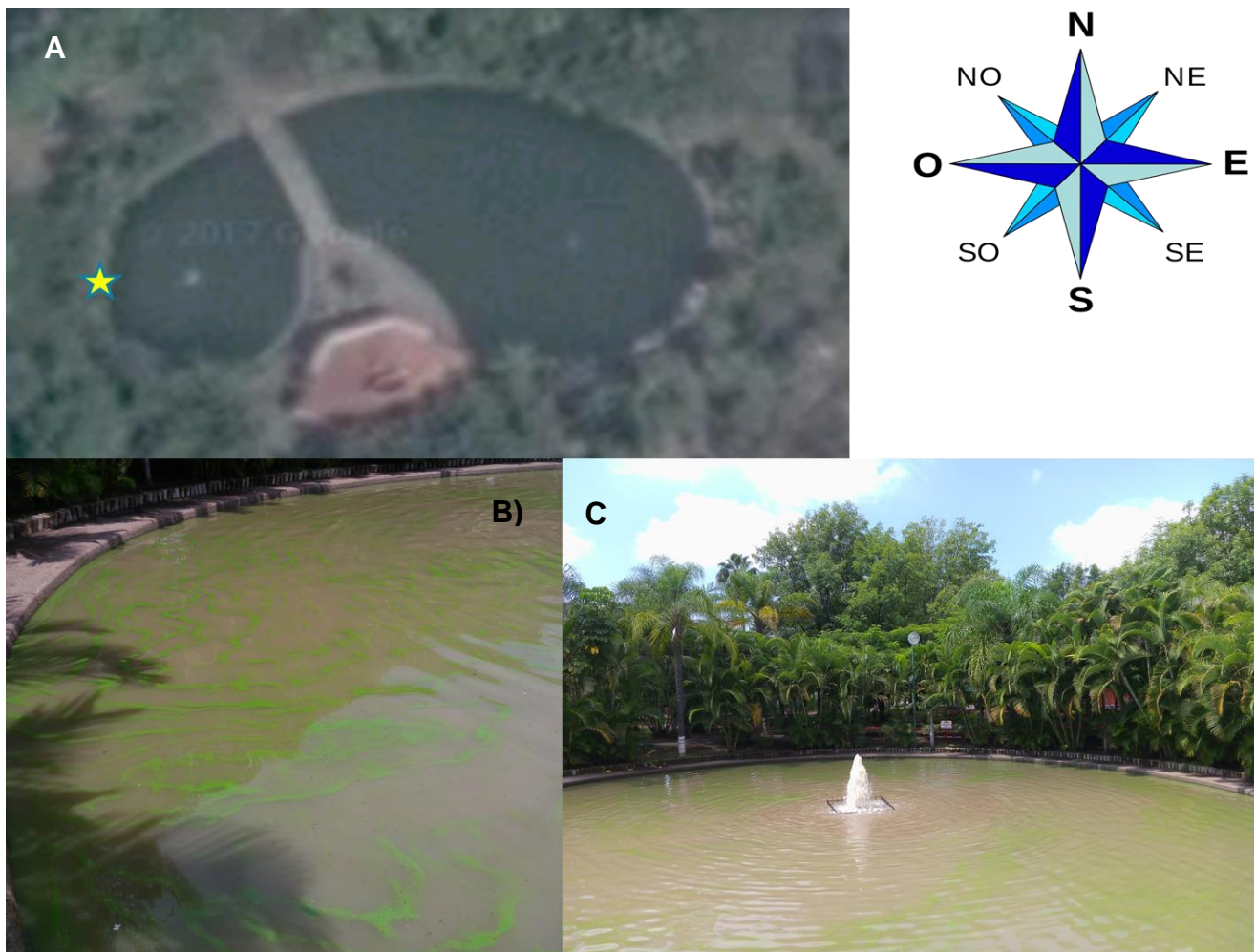


Figura 2. Caracterización de la fuente de estudio. A) Vista aérea, B) y C)

Como puede observarse en la Figura 2, el lago tiene la presencia de algunos conglomerados de color verde en su superficie, los cuales, evidencian la presencia

de algas. Para este trabajo no fue identificado el tipo de alga presente, pues solo se enfocó en la evaluación del sistema de electroflotación.

8.2. Análisis de la calidad del agua inicial

Para poder conocer el estado de contaminación del agua a tratar y la concentración de algas presentes en él, fue necesario realizar un muestreo para medir los siguientes parámetros indicadores de la calidad del agua antes de realizar el experimento:

1. pH
2. Temperatura
3. Turbiedad
4. Conductividad
5. Color Aparente
6. Color Real
7. Nitratos
8. Nitrógeno amoniacal
9. Aluminio
10. Hierro
11. Sulfato
12. Fosfato
13. Dureza de calcio
14. Alcalinidad
15. Clorofila

Los parámetros se analizaron en el laboratorio de potabilización a excepción de la clorofila, la cual, permite conocer indirectamente la cantidad presente de algas en el cuerpo de agua. La clorofila fue medida junto con la repetición de algunos otros parámetros, por el laboratorio de Calidad del Agua del IMTA para asegurar que los resultados fueran correctos y analizados bajo la norma 001-SEMARNAT-1996.

8.3. Prueba de jarras

Se realizaron pruebas de jarras para conocer la dosificación de aluminio, polímero y el pH óptimo necesario para poder realizar las pruebas siguientes. Se determinó primero la concentración óptima de coagulante, el coagulante utilizado fue Hidroxicloruro de Aluminio comúnmente conocido como PAC, se probaron 5 concentraciones distintas de entre 20 y 60 mg/L manteniendo una jarra testigo libre de coagulante.

Posteriormente con la concentración adecuada de coagulante, se evaluaron 5 diferentes concentraciones de polímero (entre 0.2 y 0.6 mg/L) en presentación líquida (polidadmac) y sólida (Polielectrolito catiónico).

Por último, conociendo las dosis de polímero y coagulante óptimas se probaron pH entre 6.5 y 9.

La eficiencia de cada concentración se determinó midiendo en el laboratorio de potabilización después de la prueba los siguientes parámetros:

- Temperatura
- pH
- Conductividad
- Turbiedad
- Color aparente y real
- Sólidos sedimentables

8.4. Características la columna de electroflotación

El diseño propuesto de la columna de electroflotación se esquematiza en la Figura 3. El flujo de agua a tratar entra de manera ascendente a la columna por la parte inferior, pasa por las placas de aluminio que se encuentran reaccionando y produciendo Al^{3+} para posteriormente entrar a un túnel de reducción. Después de pasar, el flujo cae por las paredes exteriores del túnel

de reducción, el fluido se acumula hasta llegar a la parte superior, donde se le retira la espuma mediante su escurrimiento en un dispositivo cónico al centro.

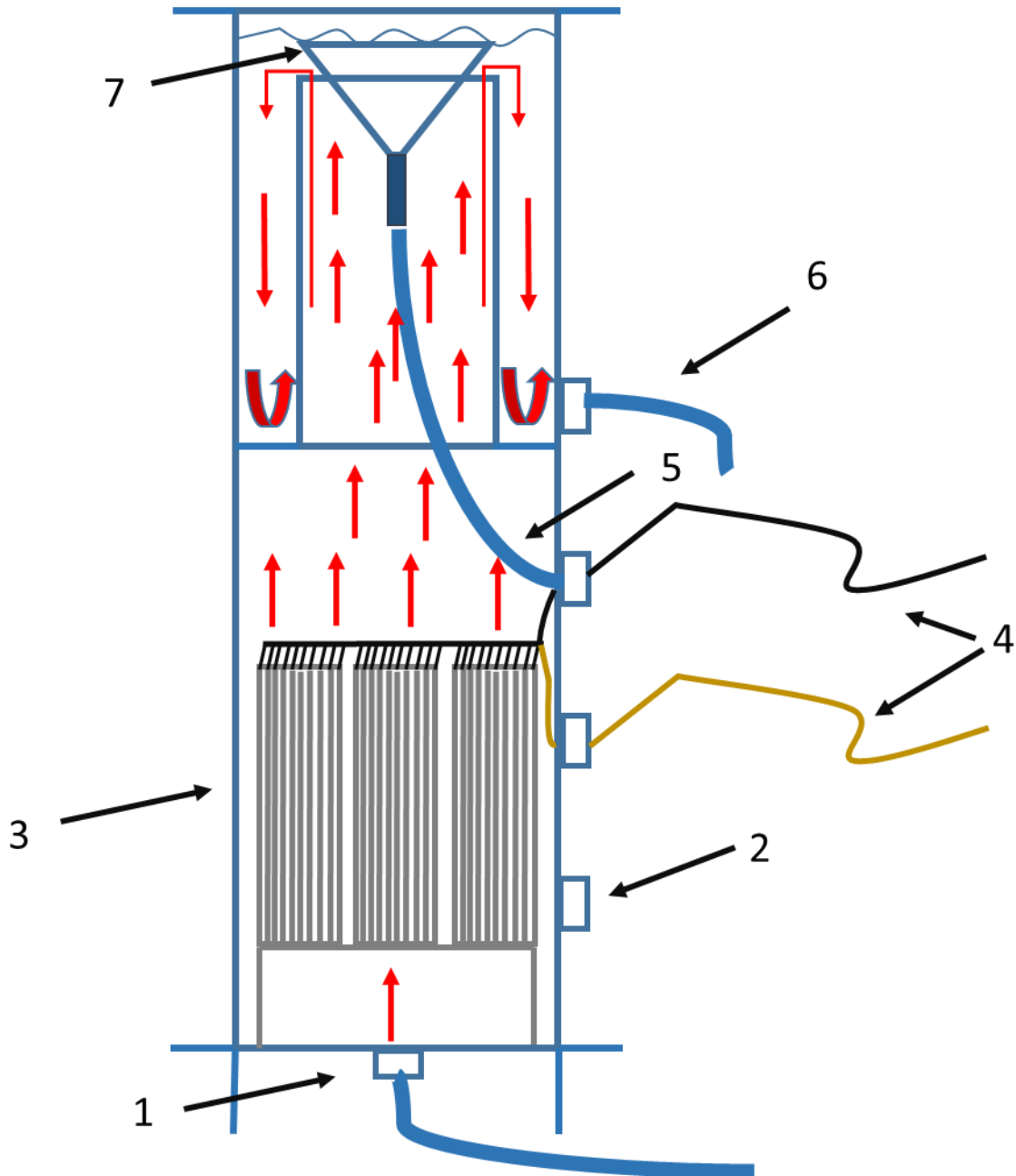


Figura 3. Esquematación del modelo de la columna de electroflotación. 1) Entrada del efluente; 2) Depuración de lodos; 3) Disposición de las placas de aluminio; 4) Cables para conducir electricidad al circuito. 5) Salida de espuma; 6) Salida del efluente y 7) Salida de espuma.

Se dispusieron 3 módulos de 10 placas en la parte inferior de la columna para producir el aluminio necesario para el tratamiento.

8.5. Diseño del experimento

Se realizó un diseño de experimentos factorial 2^2 con dos niveles, dos factores y dos centros completamente aleatorio

Niveles: Concentración de Polímero (0 y 0.6mg/L)

Factores:

A. Concentración de Aluminio (20 y 50 mg/L)

B. Caudal (0.5 y 1.5 L/min)

C.

Cuadro 1. Diseño de experimentos para la evaluación del funcionamiento de la columna de electroflotación.

[] POLÍMERO (mg/L)		[] ALUMINIO (mg/L)		CAUDAL (L/min)	
-1	0	-1	20	-1	0.5
-1	0	-1	20	1	1.5
-1	0	1	50	-1	0.5
-1	0	1	50	1	1.5
1	0.6	-1	20	-1	0.5
1	0.6	-1	20	1	1.5
1	0.6	1	50	-1	0.5
1	0.6	1	50	1	1.5
0	0.3	0	35	0	1
0	0.3	0	35	0	1

8.6. Variables de respuesta

Las variables de respuesta establecidas para el experimento son las siguientes:

- Voltaje inicial (V)
- Voltaje final (V)
- Temperatura (°C)
- Aparente (UPtCo)
- Real (UPtCo)
- Turbiedad (NTU)
- pH
- Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
- SDT (PPM)
- Lodos recuperados (mL/L)
- Biomasa (g)

9. Resultados, planos, gráficas, prototipos y programas

9.1. Calidad del agua inicial

La caracterización del influente se muestra en el Cuadro 2. La presencia de algas se evidencia en los altos niveles de color aparente, turbiedad y clorofila.

Cuadro 2. Caracterización del efluente.

PARÁMETROS	NITRATO (mg/L N- NO ₃)	HIERRO FERROSO (mg/L Fe ²⁺)	ALCALINIDAD (mg/L como CaCO ₃)	DUREZA DE Ca (mg/L como CaCO ₃)	NITROGENO AMONIACAL (mg/L N-NH ₃)	FOSFATO (mg/L PO ₄ ³⁻)	TEMPERATURA (°C)	
RESULTADO	8.2	0.1	69	54	0.54	6.85	20.3	
PARÁMETROS	C. APARENTE (UPtCo)	C. REAL (UPtCo)	TURBIEDAD (NTU)	pH	CONDUCTIVIDAD (μs/cm)	SDT (PPM)	SULFATO (mg/L SO ₄ ²⁻)	CLOROFILA (mg/m ³)
RESULTADO	259	25	136	9.42	361.6	177.7	43	303

9.2. Prueba de jarras

9.2.1. Dosis óptima de coagulante

Se elaboró la prueba de jarras para determinar la concentración óptima de coagulante. De acuerdo a lo observado en el Cuadro 3 y los gráficos de la figura 4, se tomó como dosis óptima 40 mg/L de coagulante para realizar las pruebas siguientes.

Cuadro 3. Resultados obtenidos en la prueba de jarras para la determinación de la dosis óptima de coagulante.

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN DE COAGULANTE (mg/L)	TEMPERATURA	Ph	CONDUCTIVIDAD (μS/cm)	TURBIDEZ (NTU)	COLOR		SOLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L)
						APARENTE (U Pt/Co)	REAL (U Pt/Co)	
JARRA 1	0	25.5	7.86	97.9	45.4	750	18	1.3
JARRA 2	20	25.0	7.59	97.5	5.7	63	14	4.5
JARRA 3	30	25.2	7.38	100.6	2.55	32	12	14.0
JARRA 4	40	25.2	7.20	101.2	1.72	26	12	20.0
JARRA 5	50	25.1	7.06	103.0	2.36	26	11	20.0
JARRA 6	60	25.1	6.80	104.2	2.34	26	9	17.0

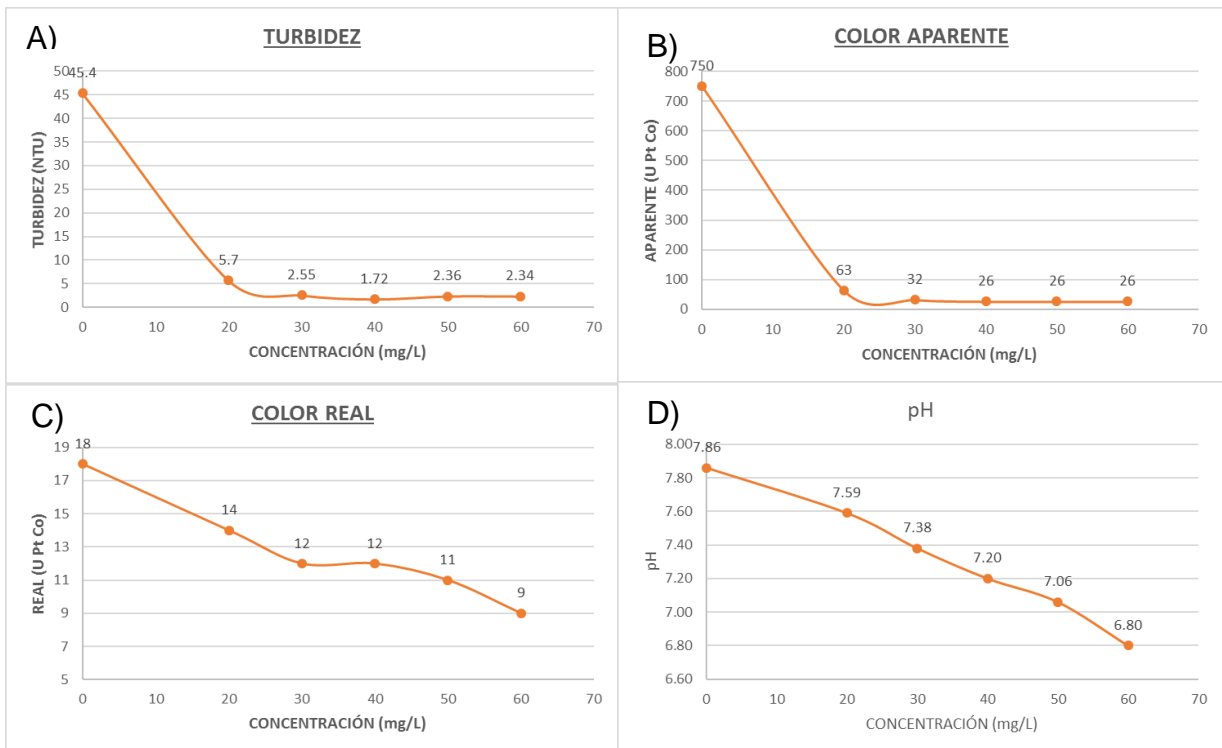


Figura 4. Comportamiento de los parámetros con el aumento en la concentración de coagulante. A) Turbidez, B) Color Aparente, C) Color Real y D) pH.

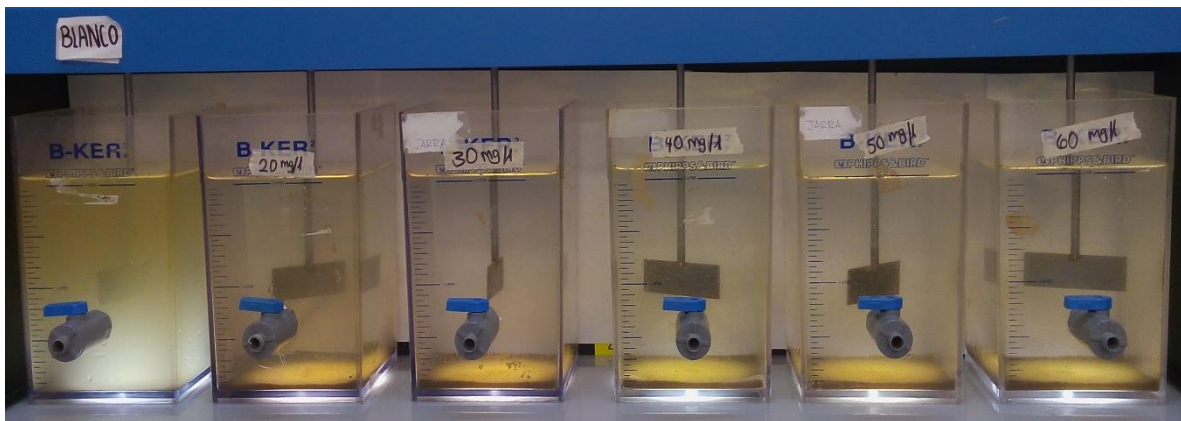


Figura 5. Apariencia de las Jarras después del periodo de sedimentación.

9.2.2. Dosis óptima de polímero

Se obtuvo la dosis óptima tanto del polímero líquido (Polidadmac) como del polímero sólido (Polielectrolito catiónico). Los resultados obtenidos pueden apreciarse en el

Cuadro 4 y la Figura 6. La dosis adecuada de polímero para el líquido es 0.2 mg/L y para el sólido 0.3 mg/L.

Cuadro 4. Resultados obtenidos en la prueba de jarras para la determinación de la dosis óptima de polímero

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN (mg/L)	TEMPERATURA (°C)		Ph		CONDUCTIVIDAD (µs/cm)		TURBIEDAD (NTU)		COLOR (U Pt/Co)				SÓLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L)		
		S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	
TIPO DE POLÍMERO																
JARRA 1	0	24.6	23.2	7.1	7	105.9	110.8	0.97	1.33	17	4	3	0	12	2	
JARRA 2	0.1	24.5	23.1	7.1	7	105.3	110.4	0.87	1.19	17	0	3	0	7.5	14	
JARRA 3	0.2	24.5	23.1	7.1	7.1	105.4	111.3	1.35	1.14	18	1	2	0	7.5	14	
JARRA 4	0.3	24.6	23.2	7.1	7.2	105.8	114.7	1.18	1.05	16	0	3	0	8	15	
JARRA 5	0.4	24.4	23.2	7.1	7.2	105.0	110.1	1.03	0.86	17	1	2	0	8	13	
JARRA 6	0.5	24.5	23.2	7.1	7.4	105.8	113.5	1.16	0.76	13	3	1	0	8	12	

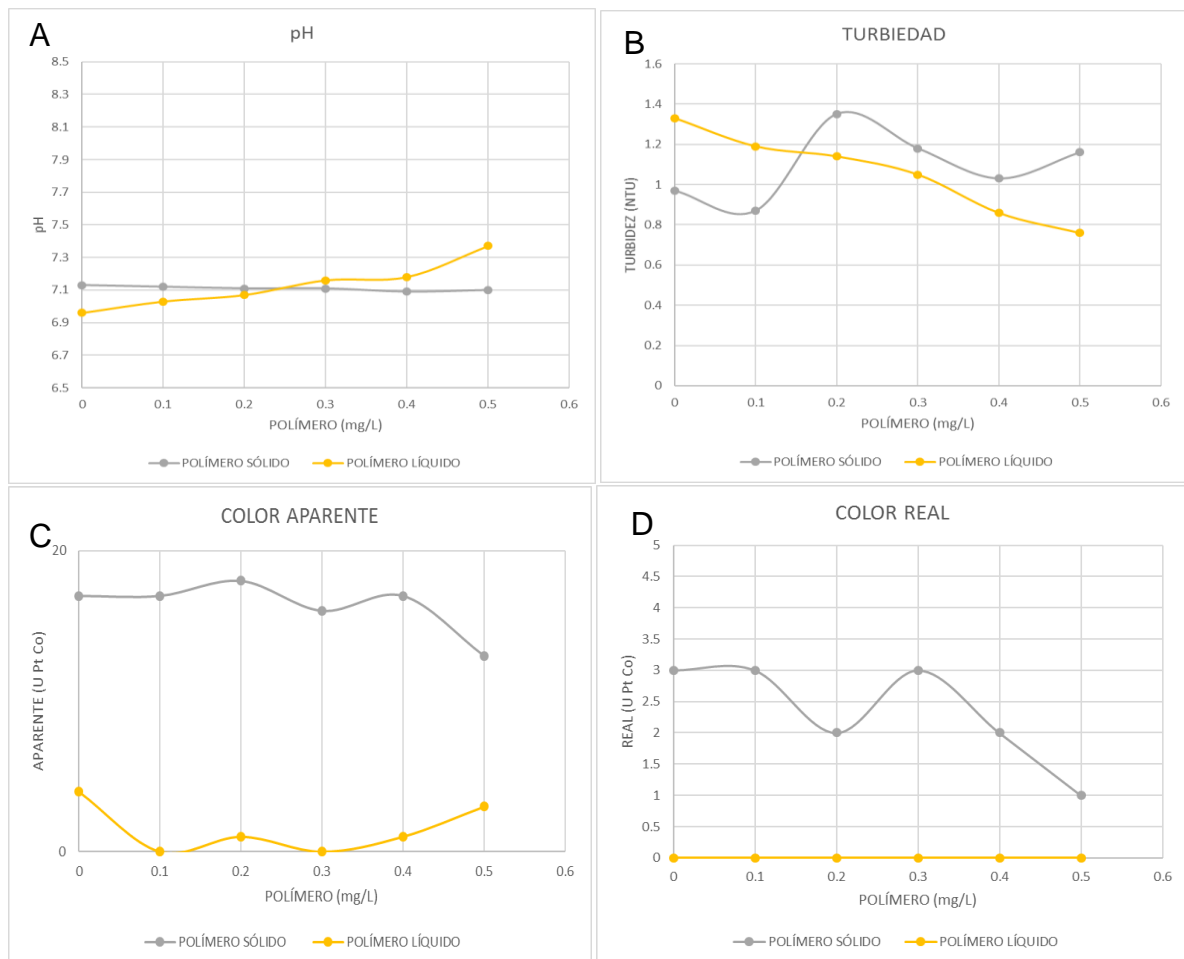


Figura 6. Comportamiento de los parámetros con el aumento en la concentración de polímero. A) pH, B) Turbiedad, C) Color Aparente, D) Color Real.

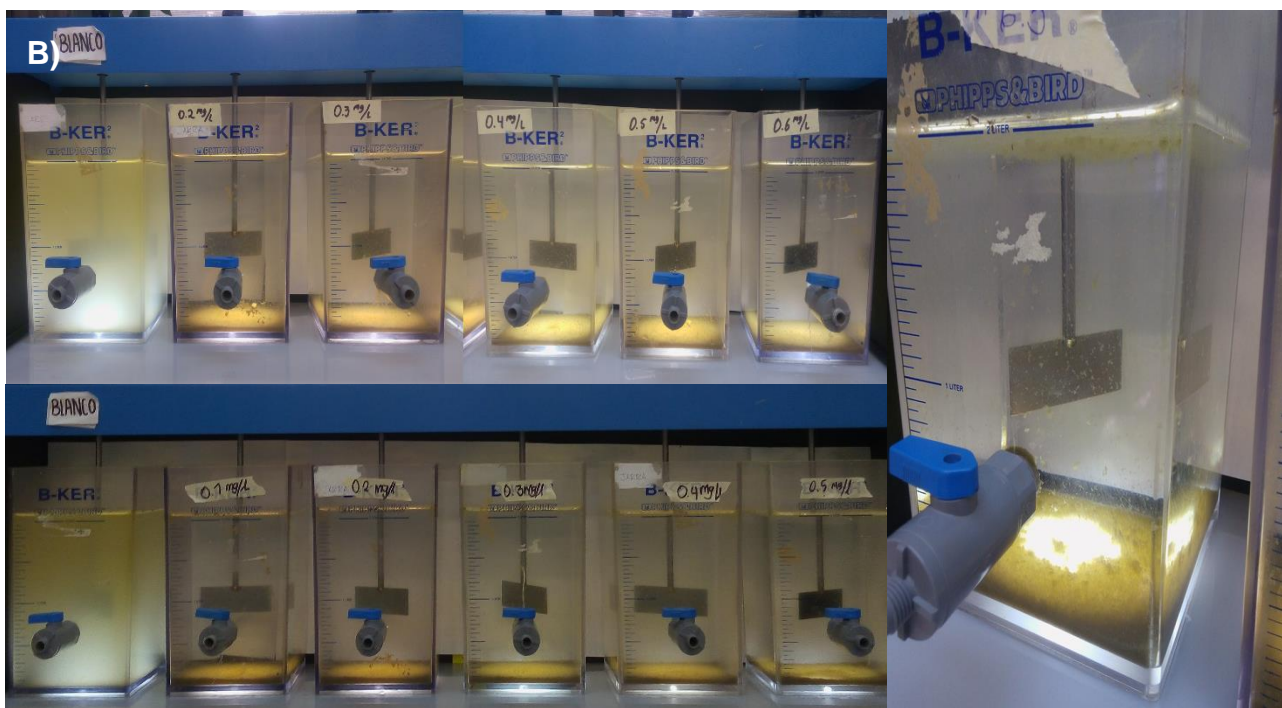


Figura 7. Apariencia de las Jarras en la prueba de concentración óptima de polímero después del periodo de sedimentación. A) Polímero líquido, B) Polímero sólido y C) Jarra con el sedimento flotando.

Cuando se utiliza el polímero líquido, después 15 minutos de comenzar la sedimentación, los flóculos sedimentados comienzan a flotar, por lo que para evaluación de la columna de electroflotación se probó el polímero líquido.

9.2.3. pH óptimo de operación

Después de realizar las pruebas para la identificación del pH óptimo de operación y analizar los resultados mostrados en el cuadro 5 y la Figura 8, se eligió un pH de 8.5 para operar.

Cuadro 5. Resultados obtenidos en la prueba de jarras para la selección del pH de operación.

PARÁMETROS	pH INICIAL	TEMPERATURA (°C)	pH FINAL	CONDUCTIVIDAD (μs/cm)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (U Pt/Co)		SOLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L)
						APARENTE	REAL	
JARRA 1	6.5	22.5	6.35	109.2	1.53	20	15	8
JARRA 2	7.0	22.4	6.84	103.2	1.17	19	18	12
JARRA 3	7.5	22.5	7.11	105.1	1.31	21	14	11
JARRA 4	8.0	22.4	7.25	107.1	1.28	21	14	11
JARRA 5	8.5	22.4	7.41	110.2	0.65	18	14	16
JARRA 6	9.0	22.5	8.00	119.6	0.74	22	15	17

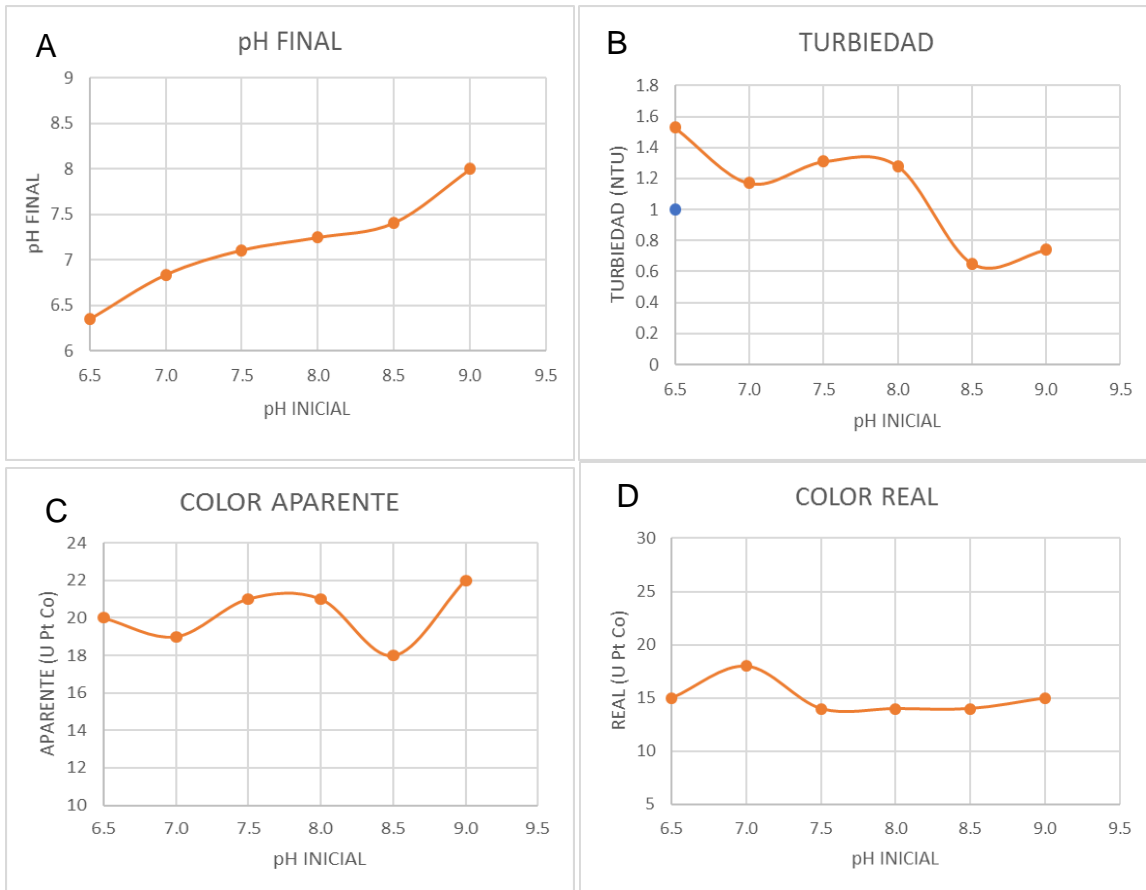


Figura 8. Comportamiento de los parámetros con el aumento en el pH inicial. A) pH final, B) Turbiedad, C) Color Aparente, D) Color Real.



Figura 9. Apariencia de las Jarras en la prueba para obtener el pH óptimo de operación después del periodo de sedimentación.

9.3. Condiciones de operación de la columna de electroflotación

Las condiciones de operación de la columna de electroflotación se muestran en el cuadro 6. Se eligió un tiempo de operación tomando en cuenta el caudal del influente para que la columna pudiera llegar a un estado estable para la evaluación del efluente del proceso.

Cuadro 6. Parámetros de operación de la columna de electroflotación

PARÁMETRO	RESULTADO
Tiempo de Residencia Hidráulico (TRH)	Q= 0.5 L/min - TRH = 103 min Q= 0.5 L/min - TRH = 52 min Q= 0.5 L/min - TRH = 35 min
Área de contacto entre placas	0.8997 m ²
Volumen del reactor	10.5 L
Tiempo de Operación (TO)	Q= 0.5 L/min - TO = 120 min Q= 0.5 L/min - TO = 70 min Q= 0.5 L/min - TO = 55 min
Volumen total	51.4809 L

9.4. Evaluación del sistema de electroflotación en la remoción de algas

Los datos de la evaluación del sistema desde el punto de vista electroquímico se muestran en el Cuadro 7. Se puede apreciar que el voltaje inicial y final se mantuvieron estables para pruebas con la misma intensidad de corriente.

Cuadro 7. Resultados de la evaluación electroquímica de la columna de electroflotación.

CORRIDA	CAUDAL (L/min)	[] AL TEÓRICA (mg/L)	[] POLÍMERO (mg/L)	INTENSIDAD (A)	voltaje i (V)	voltaje f (V)	DENSIDAD DE CONRRIENT E (A/m ²)
1	0.5	50	0.6	5.8	6.76	3.52	6.45
2	1.5	50	0	5.8	6.8	3.41	6.45
3	1.5	20	0.6	1.8	4.3	2.06	2.00
4	1.5	20	0	1.8	4.5	2.03	2.00
5	1	35	0.3	2.5	5.9	2.41	2.78
6	1.5	50	0.6	5.8	7.8	3.59	6.45
7	0.5	20	0	1.8	3.04	1.93	2.00
8	1	35	0.3	2.5	3.1	2.33	2.78
9	0.5	20	0.6	1.8	2.18	1.99	2.00
10	0.5	50	0	5.8	7.98	3.58	6.45

En el cuadro 8 y figura 10 se muestran los resultados obtenidos al analizar en el laboratorio de potabilización el efluente de cada de las pruebas realizadas. La comparación de las pruebas se muestra en la figura 10. La remoción de algas se cuantificó mediante el peso seco de biomasa recuperada en lodos y en espuma. La mayor cantidad de remoción de algas se dio con un caudal de 0.5 L/min y una concentración de aluminio teórica de 50 mg/L.

Cuadro 8. Resultados de la evaluación del efluente.

CORRIDA	CAUDAL (L/min)	[] AL TEÓRICA (mg/L)	[] POLÍMERO (mg/L)	TEMPERATURA (°C)	C. APARENTE (UPtCo)	C. REAL (UPtCo)	TURBIEDAD (NTU)	pH	CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	SDT (PPM)	LODOS (mL/L)	BIOMASA (g/L)
1	0.5	50	0.6	21.7	70	4	8.04	8.6	307.9	151.4	400	11.3152
2	1.5	50	0	22.4	222	8	25.8	8.4	337.4	165.8	100	2.0196
3	1.5	20	0.6	22.4	97	15	9	8.2	363.4	179.7	8	0.0945
4	1.5	20	0	22.8	242	13	17.9	8.7	363.5	178.6	70	0.0109
5	1	35	0.3	22.3	189	11	18.9	8.3	348.7	171.4	210	1.9168
6	1.5	50	0.6	22.5	187	9	25.9	8.5	335.8	165.1	20	0.2324
7	0.5	20	0	21.1	248	12	27.2	8.1	349	171.5	135	5.798
8	1	35	0.3	21.9	247	13	19.4	8.2	356.4	175.1	25	0.3467
9	0.5	20	0.6	20.7	176	12	22	8.1	348.4	171.2	110	1.9582
10	0.5	50	0	20.1	67	11	6.15	8.2	299.6	147.3	400	25.7432

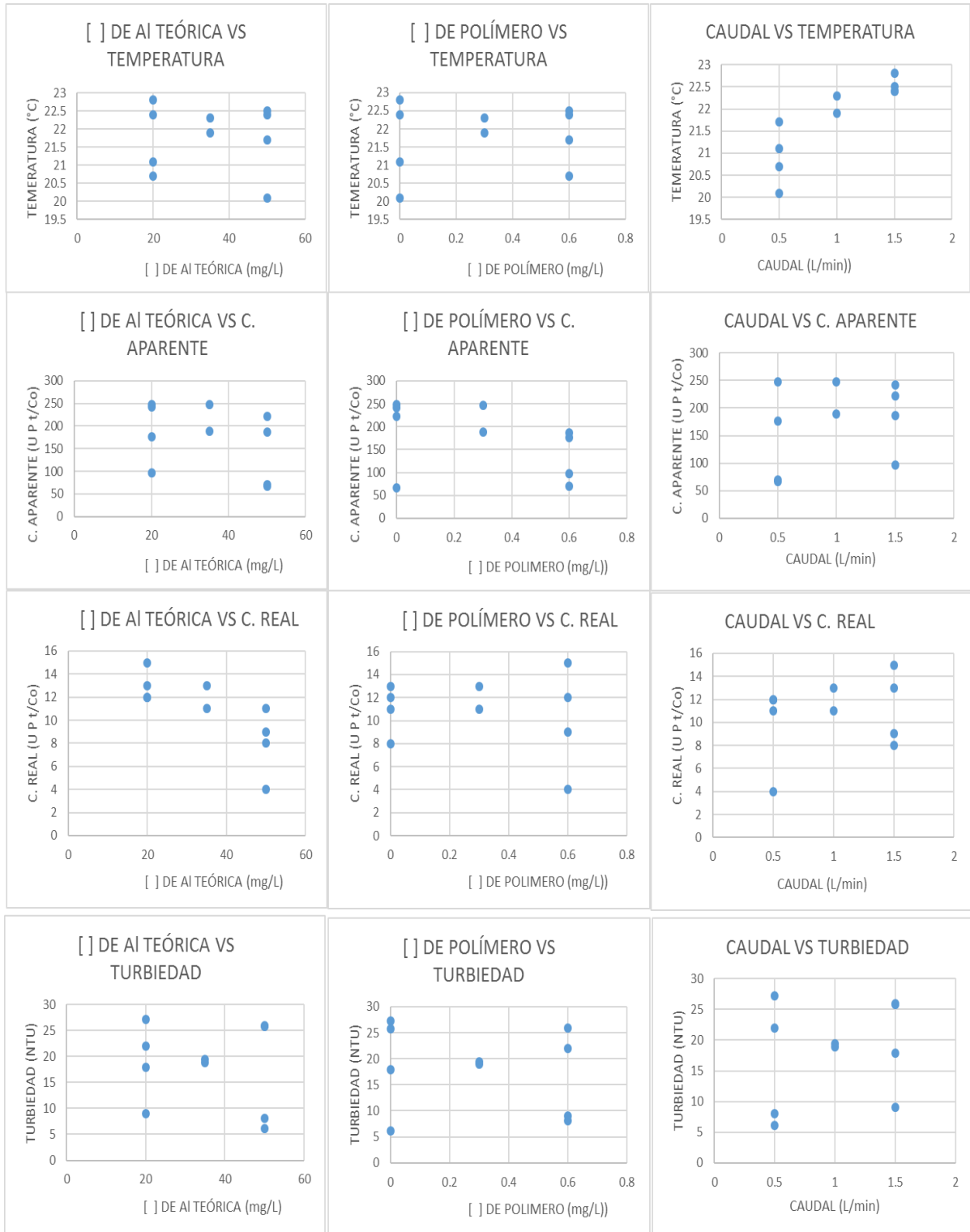


Figura 10. Relación entre factores y variables de respuesta.

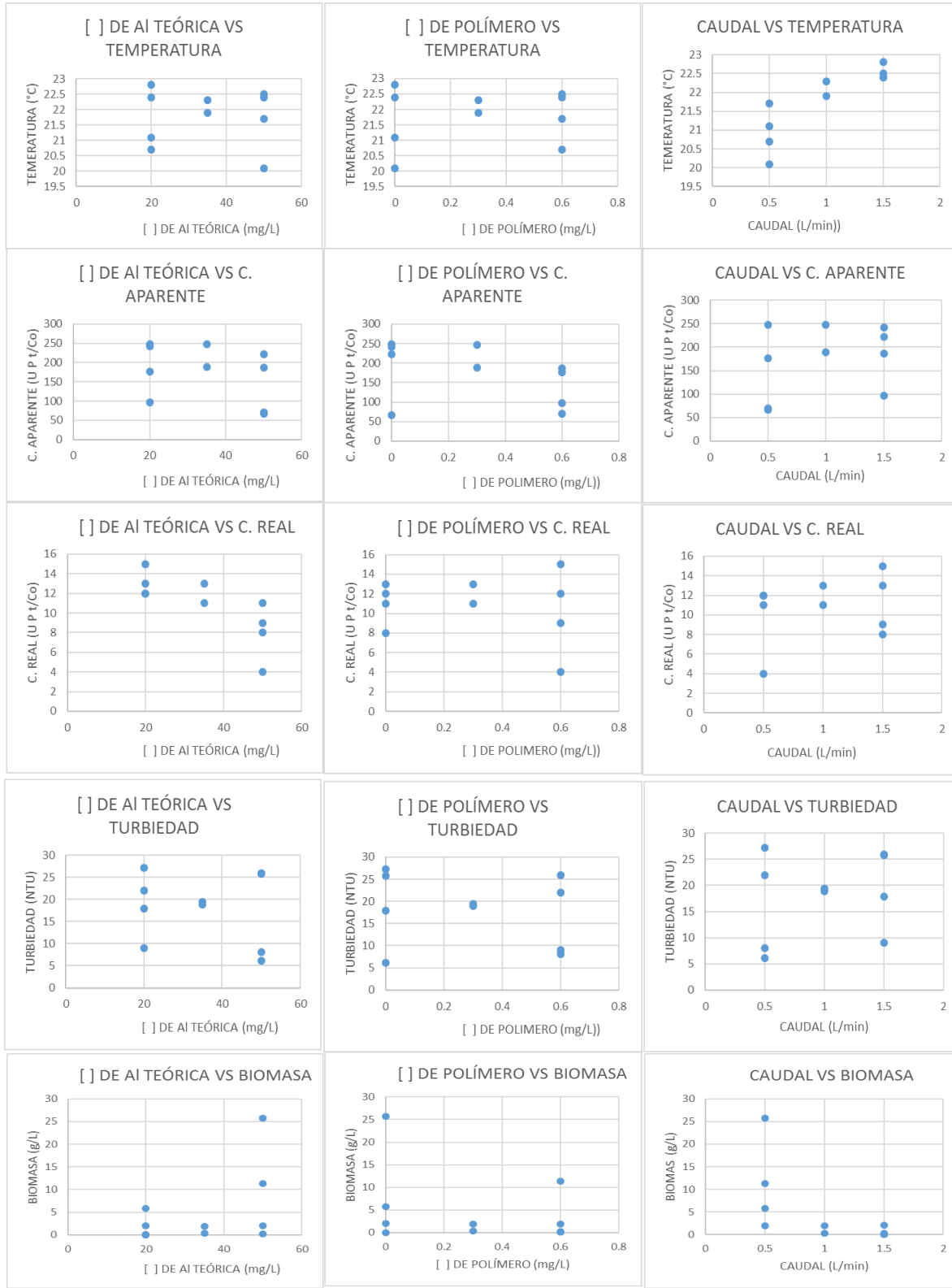


Figura 10. (Continuación) Relación entre factores y variables de respuesta.

10. Conclusiones y recomendaciones

La electroflotación es un proceso que permite remover exitosamente algas presentes en cuerpos de agua. El diseño de una columna de electroflotación presentado en el presente trabajo resulta eficiente en la recuperación de la calidad del agua, así como para la remoción de algas. Para futuras investigaciones es necesario realizar un escalamiento para de esta manera, evaluar el funcionamiento de la columna a nivel piloto. Además, es necesario implementar la utilización de tecnología verde debido al gasto de energía eléctrica del proceso.

11. Referencias bibliográficas y virtuales

Amato, T., Edzwald, J. K., Tobiason, J. E., Dahquist, J., y Hedberg, T. (2001). An integrated approach to dissolved air flotation. *Water Science and Technology*. 43.(8):19-26.

Briley, D. S., y Knappe, D. R. U. (2002). Optimizing ferric sulfate coagulation of algae with streaming current measurements. *Journal AWWA*, 94(2):80-90.

Chen, G. (2000). "Electrocoagulation and Electroflotation of Restaurant Wastewater". *Journal of environmental engineering*, Volumen 126, pp. 858-863.

Chen, G. (2004). "Electrochemical Technologies in wastewater treatment", *Separation and Purification Technology*. Vol. 38, pp. 11-41.

Chen, M., Liu, J., y Ju, Y. (1998). Flotation removal of algae from water. *Physicochemical and Engineering Aspects*. 12:49-55.

Chow, M., Jenny, H., Michael D. B., y Renate, M. A. (1998). The impact of conventional water treatment processes on cells of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Wat Res*. 33(15):3253-3262.

Codony, F., Miranda, A. M., y Mas, J. (2003). Persistence and proliferation of some unicellular algae in drinking water systems as result of their heterotrophic metabolism. *Water SA*. 29(1):113-116.

Dart, R. K. (1985). *Microbiological aspects of pollution control*. Ed. Elsevier, 4a ed., Michigan E. U. A., pp 169-181,

Dittman Elke, Wiegand C. (2006). Cyanobacterial toxins-occurrence, biosynthesis and impact on human affairs, *Mol. Nutr. Food Res*. 50. 7–17.

Ma J., Liu W. (2002). Effectiveness and mechanism of potassium ferrate(VI) peroxidation for algae removal by coagulation, *Water Res.* 36. 871–878.

Xueming C., y Guahua, C. (2010). “Electrochemistry for the Enviroment”. Editorial Springer. Hong Kong. Pág.: 263 – 275.



El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
a través de la
Subcoordinación de Posgrado



Otorga la presente

CONSTANCIA

A: Nayla Nataly Sánchez del Río

Por formar parte del equipo ganador del Segundo Lugar durante el Hackathon de Investigación, Desarrollo e Innovación 2017, llevado a cabo los días 16 y 17 de noviembre de 2017.

Jutepec, Morelos a 17 de noviembre de 2017

Subcoordinador de Posgrado

Dr. Ariosto Aguilar Chávez



Investigación, Desarrollo 2017
e Innovación en Materia de Agua