

**SEPARACIÓN DE LA CIANOBACTERIA *Anabaenasp* DEL MEDIO DE
CULTIVO POR ELECTROCOAGULACIÓN**

CARLOS ANDRÉS RODRÍGUEZ SILVA



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2015**

**SEPARACIÓN DE LA CIANOBACTERIA *Anabaena* sp DEL MEDIO DE
CULTIVO POR ELECTROCOAGULACIÓN**

CARLOS ANDRÉS RODRÍGUEZ SILVA

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Directora

Dra. María Eugenia González Jiménez

Codirectora

Dra. Mónica Andrea Botero Londoño



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2015**

Toda la honra y la gloria es para mi Dios, el
gran arquitecto del universo, gracias a Él,
tuve la vida suficiente para terminar este
bonito proyecto

A mi hermosa madre Emma Ruth Silva, por
amarme, creer en mí y ser la mentora que
aconseja y orienta mi camino.

A mi difunto padre, por sentirse siempre
orgulloso de mí y ser un ejemplo de
fortaleza.

A mi hija María Sacha, por ser la culpable
de muchas alegrías.

Agradecimientos

A mi directora de grado María Eugenia González Jiménez por la paciencia, sacrificio, sabiduría compartida y por ser mi mentora, durante el desarrollo de este proyecto.

A mi codirectora de tesis Mónica Andrea Botero, por adoptarme como una segunda madre y presentarme esta oportunidad.

A la profesora Ana Patricia Rozo, por sus consejos para el desarrollo del proyecto

Mi eterno agradecimiento y respeto....

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	2
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1 TECNOLOGÍAS LIMPIAS Y QUÍMICA VERDE	4
3.2 ELECTROCOAGULACIÓN	5
3.3 MICROALGAS.....	7
3.3.1 Cianobacteria <i>Anabaena</i> sp y biomasa algal	7
3.3.1 Antecedentes en el uso de la electrocoagulación	9
4. MATERIALES Y METODOS.....	10
4.1 EQUIPOS, REACTIVOSY PREPARACIÓN DE SOLUCIONES.....	10
4.1.1 Reactivos	10
4.1.2 Preparación de soluciones	10
4.1.3 Equipos	11
4.2 PROTOCOLO EXPERIMENTAL	13
4.2.1 Preparación y crecimiento algal.....	13
4.2.2 Curva de calibración.....	13

4.2.3 Curva De Crecimiento	15
4.2.4 Recuperación de microalgas por electrocoagulación.....	16
4.2.5 Evaluación de residuos de los metales.....	19
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	20
5.1 CURVA DE CALIBRACIÓN DE ABSORBANCIA A 550 nm vs CONCENTRACIÓN.....	20
5.2 ETAPAS DE CRECIMIENTO DE LA <i>Anabaena sp.</i>.....	23
5.3 REMOCIÓN DE BIOMASA POR ELECTROCOAGULACIÓN	25
5.3.1 Consumo de energía	32
5.4 DETERMINACION DE METALES DE ALUMINIO	34
6. CONCLUSIONES	36
7. RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Anabaena</i> sp en objetivo de 100x	7
Figura 2. Diagrama esquemático de un reactor de electrocoagulación.....	12
Figura 3. Biomasa seca sobre el papel filtro.....	14
Figura 4. Montaje de curva de crecimiento	15
Figura 5. Montaje de recuperación de biomasa algal	16
Figura 6. Configuración de electrodos, a. configuración de dos electrodos; b. configuración bipolar. c configuración monopolar.....	17
Figura 7. <i>Anabaenas</i> vista desde diferentes objetivos	20
Figura 8. Curva de barrido muestra de <i>Anabaena</i> sp.....	21
Figura 9. Curva de calibración a 550 nm.....	22
Figura 10. Curva de crecimiento de la <i>Anabaena</i> sp.....	24
Figura 11. Biomasa recolectada en una celda de soporte	25
Figura 12. Efecto del material de electrodo en función del porcentaje de remoción.....	26
Figura 13. Resultados efecto del material de electrodo	27
Figura 14. Efecto de la conductividad en función del porcentaje de remoción.	28
Figura 15. Efecto de la concentración en función del porcentaje de remoción	29
Figura 16. Efecto del voltaje en función del porcentaje de remoción	30
Figura 17. Efecto del pH en función del porcentaje de remoción	31
Figura 18. Efecto de la configuración de electrodo en función del porcentaje de remoción.	32
Figura 25. Efecto del voltaje en función del porcentaje de remoción y la concentración de algas, para la determinación de metales.....	60
Figura 26. Efecto del pH en función del porcentaje de remoción y la concentración de algas, para la determinación de metales.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de soluciones stock del medio BG-11(0)	11
Tabla 3. Perdida de peso en el material de electrodo	27
Tabla 4. Consumo de energía	33
Tabla 5. Metales de aluminio disueltos	34
Tabla 6. Efecto del material de electrodo usando Hierro/Aluminio	44
Tabla 7. Efecto del material de electrodo usando Aluminio/Aluminio	45
Tabla 8. Efecto del material de electrodo usando Acero/Aluminio	45
Tabla 9. Efecto de la configuración del electrodo con configuración de dos electrodos..	46
Tabla 10. Efecto de la configuración del electrodo con configuración monopolar	47
Tabla 11. Efecto de la configuración del electrodo con configuración bipolar	48
Tabla 12. Efecto de la conductividad a 1500 $\mu\text{S/cm}$	48
Tabla 13. Efecto de la conductividad a 1000 $\mu\text{S/cm}$	49
Tabla 14. Efecto de la conductividad a 500 $\mu\text{S/cm}$	50
Tabla 15. Efecto de la conductividad a 200 $\mu\text{S/cm}$	51
Tabla 16. Efecto de la concentración inicial con abs (550 nm) de 0.900.....	52
Tabla 17. Efecto de la concentración inicial con abs (550 nm) de 0.800.....	52
Tabla 18. Efecto de la concentración inicial con abs (550 nm) de 1.000.....	53
Tabla 19. Efecto del voltaje a 20 V.....	54
Tabla 20. Efecto del voltaje a 15 V.....	54
Tabla 21. Efecto del voltaje a 10 V.....	55
Tabla 22. Efecto del voltaje a 5 V.....	56
Tabla 23. Efecto del pH, con pH 7.....	57
Tabla 24. Efecto del pH, con pH 9.....	58
Tabla 25. Efecto del pH, con pH 11.....	59
Tabla 26. Efecto del voltaje a 20 V, para determinar metales	61
Tabla 27. Efecto del voltaje a 15 V, para determinar metales	61
Tabla 28. Efecto del voltaje a 10 V, para determinar metales	62
Tabla 29. Efecto del pH 7 para determinar metales	64
Tabla 30. Efecto del pH 9 para determinar metales	64
Tabla 31. Efecto del pH 11 para determinar metales	65
Tabla 32. Efecto de la conductividad a 1500 $\mu\text{S/cm}$, para determinar metales	66
Tabla 33. Efecto de la conductividad a 1000 $\mu\text{S/cm}$, para determinar metales	66
Tabla 34. Efecto de la conductividad a 500 $\mu\text{S/cm}$, para determinar metales	67

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. DATOS DE OBTENIDOS EN LA ELECTROCOAGULACIÓN DE <i>Anabaena Sp</i>	44
ANEXO 2. DATOS DE OBTENIDOS EN LA ELECTROCOAGULACIÓN DE <i>Anabaena Sp</i> Y DETERMINACIÓN DE METALES.....	60
ANEXO 3. FICHAS TÉCNICAS DE LOS ELECTRODOS	44
ANEXO 4. RESULTADOS DETERMINACIÓN DE METALES	71

RESUMEN

Las microalgas y cianobacterias son fuente de un gran número de compuestos químicos de interés industrial, por lo que el estudio de la producción de biomasa algal a partir de una especie y su separación es de gran importancia para la evaluación final de su aprovechamiento. Separar biomasa algal usando electrocoagulación es una alternativa de reemplazo a los procesos convencionales de separación de biomasa por filtración, centrifugación y uso de coagulantes químicos. En este proyecto de investigación se cosechó la cianobacteria *Anabaena* sp en medio de cultivo BG – 11₀, y se evaluó el proceso de electrocoagulación en función del material de electrodo, configuración de electrodo, conductividad, concentración inicial, voltaje y pH.

Como resultado de este trabajo se concluyó que el uso de electrodos de aluminio, es más eficiente y menos contaminante que los electrodos de hierro y acero Hot Rolled. Se encontró que el proceso de remoción de *Anabaena* sp, por medio de electrocoagulación depende de la densidad de corriente, conductividad del medio y variación de pH. Además se concluyó que no hay efecto de la concentración inicial de cianobacterias, en la electrocoagulación. Bajo condiciones óptimas el consumo de energía del proceso de electrocoagulación fue entre 1 y 3 kWh/kg. Terminado los experimentos de electrocoagulación se encontró que el contenido del metal de sacrificio en la biomasa separada fue muy bajo.

Palabras claves: cianobacterias, química verde, tecnologías limpias, electrocoagulación, *Anabaena* sp, electrodos, aluminio.

1. INTRODUCCION

Cosechar microalgas es importante, por su alto valor bioactivo, ya que son capaces de fijar dióxido de carbono, convertir el CO_2 en potenciales fuentes de biocombustibles, servir como alimento y ser transformadas en biofertilizantes [1]. Además se acepta que es una alternativa de solución para la demanda de combustible y energía [2,3]. Combinando los métodos de química limpia para separar y recolectar biomasa algal, se puede contribuir a la problemática de demanda de energía y contaminación mundial [1,2].

La separación de biomasa algal, se puede realizar mediante una tecnología limpia como es la electrocoagulación. Esta técnica es conocida hace ya algunas décadas y es tema de investigación y experimentación. Ha comenzado a recobrar interés debido a sus potencialidades en la aplicación, facilidad de manejo y operación, versatilidad y adaptabilidad a diferentes procesos y a sus ventajas ambientales y económicas [2-5].

La electrocoagulación es una tecnología alternativa de solución, a los procesos convencionales de separación de biomasa por centrifugación, sedimentación y uso de coagulantes químicos. Esta técnica cumple los principios de química verde, definidos por Paul Anastas y John Warner; tal como, diseñar productos seguros y prevenir la creación de residuos [6,7]. El cultivo de microalgas, trae ventajas ambientales y económicas a las industrias que desean bioproductos de valor, pero las principales desventajas son la producción a gran escala y la cosecha de éstas. Además el tamaño de las células de microalgas y las concentraciones altamente diluidas del cultivo, no hacen posible una recolección efectiva. Actualmente la producción de microalgas se realiza en estanques abiertos o reactores cerrados, ofreciendo ventajas en su cosecha, manejo y control. Las técnicas de recolección de biomasa más utilizadas son la centrifugación, filtración, sedimentación y la floculación química, estas técnicas son altamente eficientes pero dejan huella energética y de contaminación [6]. Otro método de recolección de biomasa es la electrocoagulación, se ha convertido en un intento de encontrar una solución ambientalmente rentable.

La investigación expone la propuesta de aplicación de química verde, haciendo uso de electrocoagulación para separar *Anabaena* sp. Este trabajo hace parte del proyecto de investigación "Separación de biomasa algal por un método de química limpia y determinación del valor biológico de las microalgas como biofertilizantes", desarrollado por el Grupo de Procesos Y Soluciones Energéticos en el laboratorio de Instrumental y metabolismos biológicos de la Universidad Central. El trabajo plantea el uso de la electrocoagulación en la cosecha de la cianobacteria *Anabaena* sp, para su uso potencial como biofertilizante.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Separar biomasa algal de *Anabaena* sp a partir de electrocoagulación.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el efecto de la intensidad lumínica sobre el crecimiento de *Anabaena* sp en medio BG – 11₀.
- Evaluar el proceso de electrocoagulación de *Anabaena* sp en el medio de cultivo en función del tipo y configuración de los electrodos, la densidad de corriente, la conductividad y el pH.
- Analizar el grado de contaminación de la biomasa obtenida y del agua remanente durante el proceso de electrocoagulación a partir de la determinación de la concentración del metal aportado por el ánodo de sacrificio.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 TECNOLOGÍAS LIMPIAS Y QUÍMICA VERDE

Este proyecto está enmarcado en las áreas de tecnologías limpias y química verde ya que tecnologías limpias se definen como aquellas orientadas a reducir, mitigar, controlar la contaminación de una actividad o un proceso productivo. Buscan la reducción de emisiones, descargas de contaminantes, disminución de consumo de agua y energía; por lo tanto se pueden considerar como amigables con el ambiente, lo que significa que favorecen el desarrollo económico, social y garantizan un uso sostenible de los recursos naturales [3].

Un campo de interés también es la química verde, o también conocida como química limpia, la cual es considerada una disciplina que engloba el desarrollo y elaboración de procedimientos químicos para reducir el uso y la generación de sustancias peligrosas para la salud y el medio ambiente [9]. La química verde busca descubrir diseños, productos y procesos que eliminen la generación y uso de sustancias peligrosas, por tal razón Paul Anastas y John Warner en su libro Green Chemistry: Theory and Practice [8], establecen los principales criterios y principios que debe seguir la química verde:

- Prevenir la creación de residuos.
- Diseñar productos y compuestos seguros.
- Diseñar síntesis químicas menos peligrosas.
- Usar materias primas renovables.
- Usar catalizadores.
- Evitar derivados químicos.
- Maximizar la economía atómica.
- Usar disolvente y condiciones de reacciones seguras.
- Incrementar la eficiencia energética (reacciones a temperatura y presión ambientes).
- Diseñar productos biodegradables.
- Analizar en tiempo real los procesos químicos para evitar la contaminación.
- Minimizar los riesgos de accidentes.

Una forma de aplicar la química verde, es usar técnicas de procesos electroquímicos [2], como la electrocoagulación que se emplea para producir reacciones químicas a partir de una corriente eléctrica; todos aquellos cambios químicos que se pueden producir a partir de un campo eléctrico [10]. El proceso de electrocoagulación, es una alternativa para los procesos de coagulación, ya que

ambos usan el mismo principio, se diferencian en que la electrocoagulación usa corrientes eléctricas para desestabilizar partículas que se encuentran suspendidas; mientras que la coagulación química [1,2], hace adición de coagulantes químicos para desestabilizar partículas coloidales que se encuentran en suspensión [11].

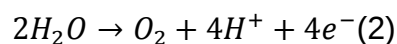
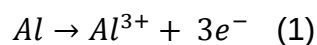
Los metales utilizados en el proceso de electrocoagulación, liberan iones metálicos, microburbujas de hidrógeno y oxígeno en el ánodo y cátodo, se considera un coagulante eficaz y capaz de ofrecer muchas ventajas como: oxidación y separación de contaminantes mediante flotación; no hay requisito de introducir aniones como sulfatos y cloruros; no existe la necesidad de hacer ajustes de pH [1,4]. Por otro lado, la electrocoagulación puede ser aplicada al tratamiento de aguas residuales, recolección y separación de biomasa algal para generación de energía mediante biocombustibles y separación de biomasa para uso en biofertilizantes [2,6].

3.2 ELECTROCOAGULACIÓN

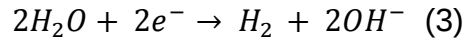
La electrocoagulación se considera un proceso electroquímico, enmarcado dentro de las tecnologías limpias [2]. Este proceso tiene la finalidad de producir cambios químicos por medio de corrientes eléctricas, se pueden emplear diferentes voltajes y se usan dos electrodos, generalmente uno de aluminio y el otro de hierro [10-12]. Los electrodos generan una fuerza electromotriz mediante la cual se produce una densidad de corriente eléctrica, este proceso desestabiliza las cargas presentes en las partículas, provocando que estén menos solubles y coloidales, o en su defecto haciéndolas hidrofóbicas [2]; como consecuencia se forman agregados (proceso de coagulación) que se precipitan o flotan. Durante este proceso las reacciones más comunes son: hidrólisis, electrólisis, reacciones de ionización y formación de radicales libres [1,6]. Las reacciones que se involucran en el proceso de electrocoagulación con diferentes materiales son los siguientes [1]:

Cuando el material del electrodo es de aluminio.

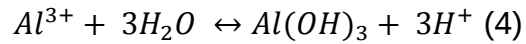
Ánodo:



Cátodo:

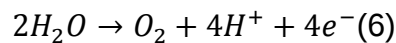
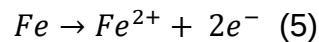


Dentro de la solución:

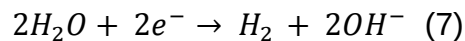


Cuando el material del electrodo es de hierro.

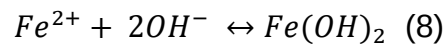
Ánodo:



Cátodo:



Dentro de la solución:



Las variables que intervienen en el proceso de electrocoagulación son la conductividad, pH, tiempo de reacción, temperatura, densidad de corriente, configuración y tipo de electrodos.

Conductividad. Es la capacidad de ciertos elementos para conducir una corriente eléctrica. Consiste en un flujo de electrones que pasan por un conductor. Se considera una variable que afecta en la electrocoagulación porque un aumento en la conductividad provoca un aumento en la densidad de corriente [12].

Tiempo de reacción. Hace referencia a la duración del proceso de electrocoagulación, esta variable es proporcional a la cantidad de iones disueltos en el agua. Cuando mayor es el tiempo de duración del proceso, mayor es la cantidad de iones disueltos en el sistema [13].

Densidad de corriente. Es la corriente aplicada por unidad de área sumergida de electrodo. La eficiencia del proceso depende de la densidad de corriente, porque

esta dosifica la cantidad de coagulante. Sí existen pérdidas, el proceso de electrocoagulación se vuelve menos eficiente, lo cual se refleja en una mayor formación de óxido en el ánodo [14].

pH. Determina el tipo de especies iónicas que actúan como coagulantes. Influye en la eficiencia de la corriente, el proceso de solubilidad del metal para formar el hidróxido y depende del material del electrodo [13].

Configuración y tipo de electrodo. Dependiendo del material de electrodo se obtienen las reacciones de oxidación y reducción respectivas. Los electrodos se pueden configurar de forma monopolar y bipolar. Generalmente se utiliza hierro y aluminio por la formación de las partículas coloidales [12].

3.3 MICROALGAS

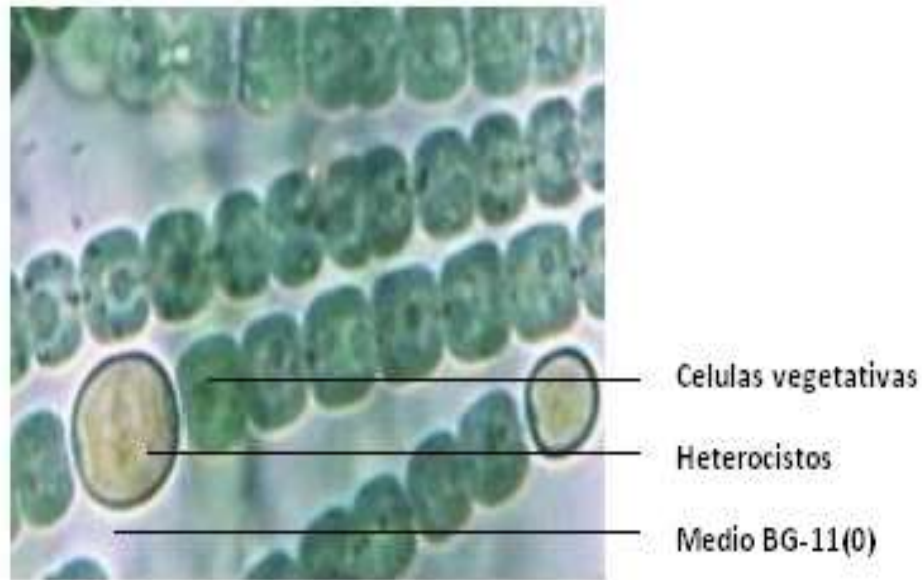
Las microalgas son microorganismos fotosintéticos con alta capacidad de fijación de CO₂, pueden crecer de manera autotrófica o heterotrófica; Ruth Pérez considera que las microalgas son los organismos más abundantes en la tierra, unas de las primeras formas de vida en la tierra y las plantas de crecimiento más rápido que existen; gracias a su diversidad y capacidad de adaptación a numerosos ambientes [11,15].

Las cianobacterias son células procariotas, además son microorganismos que comparten características de bacterias y algas; su ubicación está dentro del reino procarionte [16].

3.3.1 Cianobacteria *Anabaena* sp y biomasa algal

La *Anabaena* sp es una procariota filamentosa con gran capacidad para recolectar luz solar, captar aire atmosférico y fijar nitrógeno, para utilizarlo como única fuente alimenticia [16,17]. Esta cianobacteria filamentosa, se puede encontrar como células individuales o formando filamentos. Debido a que las cianobacterias conviven en poblaciones mixtas, se pueden separar en medio líquido BG – 11₀, para un mejor estudio [18]. La Figura 1 muestra la *Anabaena* sp, en presencia de su heterocistos y cadena de células vegetativas, visualizada en un objetivo de 100x.

Figura 1. *Anabaena* sp en objetivo de 100x



La cianobacteria *Anabaena* sp es un bioactivo de alto valor, ya que ha tomado interés en la producción sostenible, se ha convertido en organismos de producción biotecnológica [9,15], debido a que son organismos procariotas que realizan fotosíntesis, y tienen una estructura genética sencilla comparada con organismos eucariotas, las hace supremamente atractivas en usos en ingeniería agrónoma, biología molecular, ingeniería genética, ingeniería metabólica y biología sintética [11,15, 19].

La biomasa de acuerdo a la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588 se cataloga como todo material de origen biológico excluyendo a aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización. Toda la materia proveniente de cultivos de un tipo de especie, en este caso de la cianobacteria *Anabaena* sp., será llamada biomasa algal.

Muchas cianobacterias han sido empleadas para usos en la industria. Los usos más comunes han sido: principalmente como alimento, suplemento alimenticio, tratamientos para personas infértiles, diabéticas y enfermedades cancerígenas [20-22]; además se emplea en la extracción de compuestos químicos como pigmentos fluorescentes, drogas y toxinas; en el tratamiento de aguas residuales, por su capacidad de retener iones de metales y se han utilizado para desarrollar tecnologías que disminuyan la problemática de los gases de efecto invernadero, debido a su alta fijación de dióxido de carbono; como fuente de producción de biocombustibles de segunda generación, combustibles verdes y biofertilizantes [19-31].

3.3.1 Antecedentes en el uso de la electrocoagulación

Actualmente se ha utilizado en la industria del tratamiento de aguas, para la remoción de contaminantes disueltos, separación de partículas, como materia orgánica, DBO, e incluso algas [14].

La técnica de electrocoagulación fue trabajada en Londres por Webster en el siglo XIX, él hace uso de ánodos de hierro soluble con una caída de potencial de 1,8 vatios entre electrodos, de tal manera que se consiguiera reducir el DBO del agua residual presente en el lodo. Así mismo la Universidad de Nápoles, utilizó esta técnica para desinfectar las aguas negras de ciudades costeras [2].

Durante las dos últimas décadas se han reportado trabajos en donde se utiliza el proceso para remover partículas dispersas de aceites, grasa y petróleo en el tratamiento de aguas residuales provenientes de procesos de electroplateado, textiles y en procesos de potabilización del agua [25].

En la última década se han realizado algunos estudios de electrocoagulación para separar biomasa algal, lo que significa que no es un campo muy estudiado [2]. Hay evidencia de estudios científicos que dicen tener interés en diferentes técnicas de separación y recolección de microalgas, como la técnica de electrocoagulación para separar biomasa algal [1], ya que puede ser muy útil para aquellos que tengan interés en las microalgas para el uso y producción de combustibles renovables. Hay trabajos llevados a cabo que muestran una manera de separación de biomasa algal por electrocoagulación, en su estudio concluyen que es posible separar un sistema de cosecha de microalgas, por medio de electrólisis; él hace referencia a un sistema de cultivo y sistema de cosecha de microalgas (CEM), donde combina el cultivo y la recolección por electrólisis, permitiendo la concentración continua y eficiente de microalgas [19].

En el año 2012 se realizó una investigación para mirar los efectos de los iones de cloruro en los procesos de electrocoagulación, con electrodo de aluminio para la eliminación de algas [1]; los resultados mostraron que es una de las tecnologías más prometedoras que ofrece una alternativa a la coagulación convencional, ya que la adición de iones de Cl^- a (1,0, 3,0, 5,0 y 8,0) milímetros- tenía un efecto prometedor sobre la eliminación de las algas, en términos tanto de la densidad celular y clorofila. Sin embargo el estudio testificó que los iones Cl^- en la solución de algas, podría aumentar la liberación de Al^{3+} de los electrodos de aluminio en el líquido extracelular, trayendo como consecuencia corrosión en la superficie del ánodo [1].

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 EQUIPOS, REACTIVOS Y PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

4.1.1 Reactivos

- (K_2HPO_4) al 99 % de pureza.
- ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$) al 99 % de pureza.
- ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) al 99 % de pureza.
- Ácido cítrico mono hidratado al 99 % de pureza.
- $Na_2EDTA \cdot 2H_2O$ al 99 % de pureza.
- Citrato de amonio férrico.
- Carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 99 % de pureza.
- BG-11 Solución de metales Trace.
- El agua utilizada fue destilada, para obtener un agua libre de materia orgánica; de acuerdo con las recomendaciones de la literatura [32].
- NaCl al 99 % de pureza.
- NaOH.
- HCl al 35 % de pureza.
- H_2O_2
- HNO_3 al 65 % de pureza, para destruir tejido algal y evitar la precipitación de metales de aluminio [33,34].
- Material biológico; cianobacteria *Anabaena* sp aislado dentro del Grupo de procesos y Soluciones Energéticas de la Universidad Central.
- Material de vidrio.
- Material eléctrico.

4.1.2 Preparación de soluciones

El medio BG-11(0) se preparó siguiendo las recomendaciones de la Tabla 2 [35,36]. Para pesar los compuestos se empleó una balanza analítica con una precisión de $\pm 1 \times 10^{-4} g$.

Tabla 1. Concentración de soluciones stock del medio BG-11(0)

NO	COMPONENTE	CANTIDAD	CONCENTRACIÓN SOLUCIÓN STOCK
1	Fosfato dipotásico (K_2HPO_4)	10 mL/L	0.8 g/ 200 mL
2	Sulfato de magnesio($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	10 mL/L	1.5 g/ 200 mL
3	Cloruro de calcio ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)	10 mL/L	0.72 g/ 200 mL
4	Ácido cítrico · H ₂ O	10 mL/L	0.12 g/ 200 mL
5	Citrato de amonio ferrico	10 mL/L	0.12 g/ 200 mL
6	Na ₂ EDTA·2H ₂ O	10 mL/L	0.02 g/ 200 mL
7	Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃)	10 mL/L	4 g/ 200 mL
8	BG-11 Solución de metales Trace	1 mL/L	

Fuente: [36]

4.1.3 Equipos

- Balanza analítica marca OHAUS Explorer; modelo PIONEER; con una precisión de $\pm 1 \times 10^{-4} g$.
- Autoclave marca Manitows 542200; modelo Electric 25 x.
- Horno marca E&Q; Modelo HDN -30.
- Centrifuga marca Universal Centrifuge; modelo PLC – 012E.
- Bomba de vacío marca OGAST; serie 0523-V191Q-6588DX.
- Mezclador marca SUNTONE; modelo No KT-MM.
- Fuente de poder DC marca YAMATSU; modelo No 2PR30-3.
- Multímetros digitales marca AMPROBE, serie 33XR-4.
- Plancha magnética con barra de agitación, marca BOHECO; serie MSH-420.
- Control de temperatura marca ThermoScientific; serie TYP003-500.
- Multiparámetro marca HANNA; serie HI9828.
- Espectrofotómetro marca ThermoScientific; serie Genesis 10.
- Equipo de absorción atómica marca VARIAN; serie AA240FS.

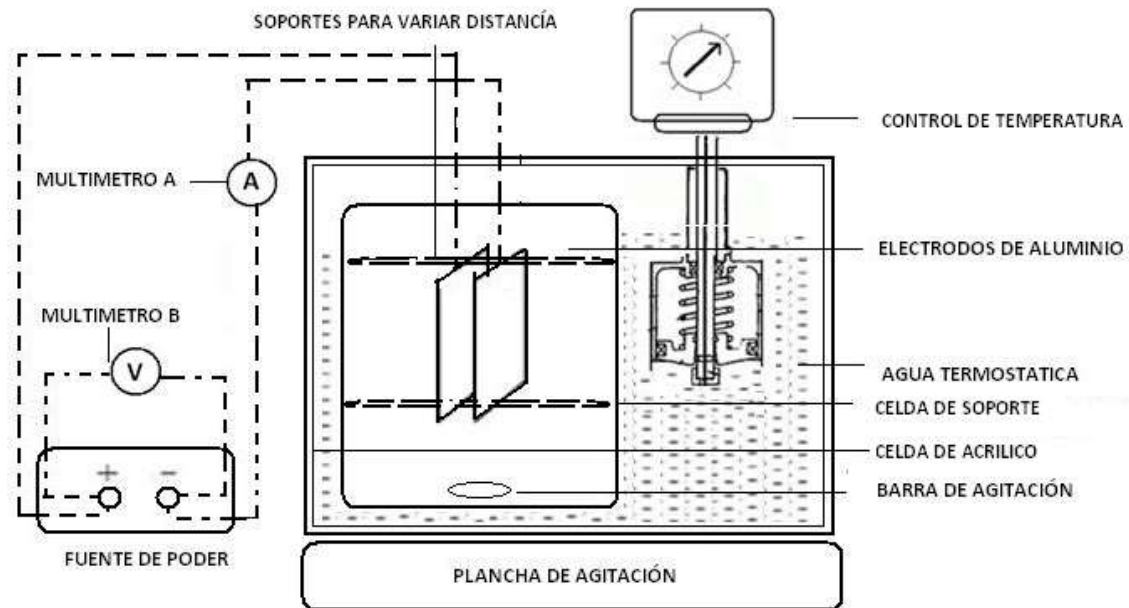
Reactor de electrocoagulación: En la figura 2 se presenta un diagrama del reactor empleado en el proceso de electrocoagulación,

Este tipo de montaje, permite controlar diferentes variables, tales como: suministro de corriente, temperatura, voltajes suministradas con una fuente de poder, y medido por dos multímetros digitales; y por último, la agitación controlada por una planchade agitación.

La celda de electrocoagulación tiene la función de contener el medio algal. Esta celda cuenta con dos soportes que permiten variar la distancia de los electrodos

desde 1 cm hasta 4 cm. La celda de acrílico tiene dimensiones de 10,8 cm de ancho, 10,2 cm de largo, y una altura de 13,5 cm; con un volumen efectivo de 900 ml.

Figura 2. Diagrama esquemático de un reactor de electrocoagulación.



La celda de electrocoagulación se encuentra dentro de un baño termostático en acrílico. El control de temperatura se realizó por medio de un termostato ThermoScientific, que permite mantener la temperatura constante a $25,0 \pm 0,1$ °C

Los metales utilizados como electrodos fueron: láminas de aluminio con espesor de 3 mm, láminas de hierro con espesor de 1 mm y láminas de acero Hot Rolled con espesor de 0,42mm; cada electrodo con un área efectiva de 30 cm^2 .

Los metales se montaban sobre el soporte en acrílico, y se conectaban con alambre de termopar a la fuente y a los multímetros, para la determinación del voltaje y la intensidad de corriente durante el experimento.

4.2 PROTOCOLO EXPERIMENTAL

4.2.1 Preparación y crecimiento algal

La investigación parte de trabajos previos realizados por el grupo de investigación GP&SE de la Universidad Central de Colombia. El objetivo del proyecto de investigación es separar biomasa algal mediante electrocoagulación y luego hacer uso de la biomasa en biofertilizantes. Por tal motivo este trabajo se realizó con la cianobacteria *Anabaena* sp.

La *Anabaena* sp se obtuvo de los laboratorios de Instrumental y Metabolismo Biológicos de la Universidad Central. Esta cianobacteria fue aislada dentro del grupo de investigación a partir de muestras de agua de los humedales del Salitre y Guaymaral, donde se ha registrado la presencia de una alta diversidad de microorganismos endémicos de estos ambientes.

La cianobacteria *Anabaena* sp fue cultivada en medio líquido BG – 11₀. Hay poca información acerca del crecimiento en volumen de la *Anabena* sp, y la literatura existente recomienda hacer crecer la biomasa algal a una escala de 1/10 en volumen y 1/3 en volumen [37,38]. El crecimiento masivo de la cianobacteria *Anabaena* sp se dio a una escala de 2/3 en volumen.

La *Anabaena* sp se cultivó en botellas de vidrio, que dependieron de luz natural, y de constante agitación de aire estéril suministrado por una bomba de aire; para evitar la aglomeración entre ellas y la adhesión de las cianobacterias en las paredes de la botella.

4.2.2 Curva de calibración

La literatura recomienda hacer recuento por cámaras de Neubauer, para determinar la concentración algal media de cultivo. Sin embargo debido a que la *Anabaena* sp no es unicelular, y tiene muchas células vegetativas unidas al heterocisto, es muy difícil realizar el conteo. Por tal razón, se realizó una curva de calibración de concentración de biomasa contra absorbancia.

La EPA de los EE.UU y la literatura recomiendan medir absorbancia a 550 nm y 750 nm, para determinar el grado de turbidez y no el pigmento de las muestras de algas [39-42]. La curva de calibración se halló midiendo absorbancia a 550 y 750 nanómetros contra la concentración de biomasa algal.

Inicialmente se realizó una curva de barrido, para conocer la interferencia del pigmento del alga en la muestra; y así encontrar la turbidez del medio de cultivo

algal, por medio de puntos óptimos [39]. Por tal motivo, se tomó una muestra de 3 ml del alga crecida, se llevó a una celda de poliestireno para realizar un barrido en el espectrofotómetro UV-VIS, a una longitud de onda inicial de 300 nm y una longitud de onda final de 800 nm.

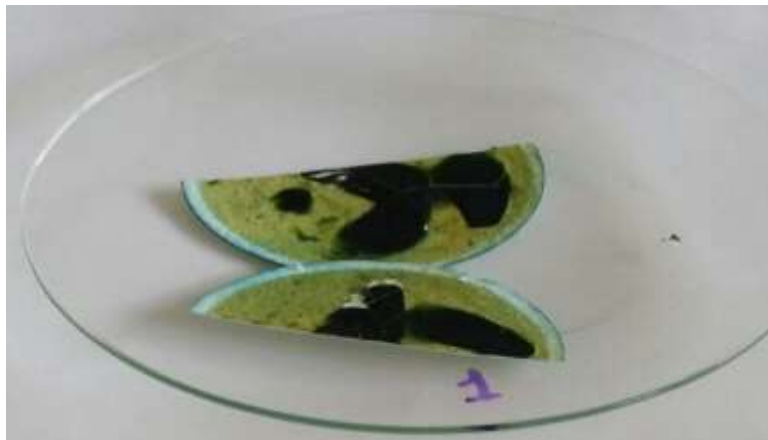
A partir de las longitudes de onda seleccionadas: 550 y 750 nanómetros, se realizó una curva de calibración de absorbancia vs concentración algal. Para esto se tomó una muestra concentrada de la cianobacteria en el medio de cultivo y se realizaron diluciones. Para obtener muestras homogéneas, las muestras se agitaron en un mixer, luego se diluyeron en agua destilada y se midió la absorbancia a diferentes concentraciones [41]. La determinación de biomasa se realizó con la filtración de un volumen conocido de muestra en un papel filtro previamente pesado y el secado de la biomasa en un horno a 65 °C durante 12 h hasta peso constante.

La Figura 3 muestra el resultado del procedimiento experimental mencionado anteriormente. Finalizado el procedimiento, se procedió a pesar las muestras del filtro con algas, obtener la concentración de biomasa algal y a montar la curva de calibración de biomasa contra absorbancia. Se calcula a partir de la siguiente ecuación [43,45]:

$$BA = \frac{W_{fa} - W_f}{V} \quad (9)$$

Donde BA es biomasa algal (g/ml), W_f es el peso del papel filtro (g), W_{fa} es el peso del papel filtro con las algas y V es el volumen total de la muestra a filtrar (ml)

Figura 3. Biomasa seca sobre el papel filtro



4.2.3 Curva De Crecimiento

Para realizar las curvas de crecimiento de los cultivos y conocer cada una de sus etapas, se adicionó una población conocida por volumen de medio de cultivo en cuatro botellas de 500 ml cada una. Las botellas se numeraron y se aislaron de la luz natural con papel aluminio, se ubicaron en un equipo que cuenta con un circuito de LEDs, conectados en paralelo que permita variar la intensidad de luz en cada estación. Las cuatro botellas se programaron a diferentes intensidades lumínicas. Las botellas uno y dos se programaron a una intensidad de 7 k/lux, la botella tres se programó a 10k/Lux y la botella cuatro se programó a 12 k/Lux. El equipo se conectó a una multitoma con temporizador que controlaba el fotoperiodo 12/12 (12 h de luz/12 h de oscuridad), la intensidad lumínica y la constante agitación de aire estéril suministrado por una bomba de aire, para evitar la aglomeración entre ellas y la adhesión de la cianobacterias en las paredes de la botella.

Figura 4. Montaje de curva de crecimiento



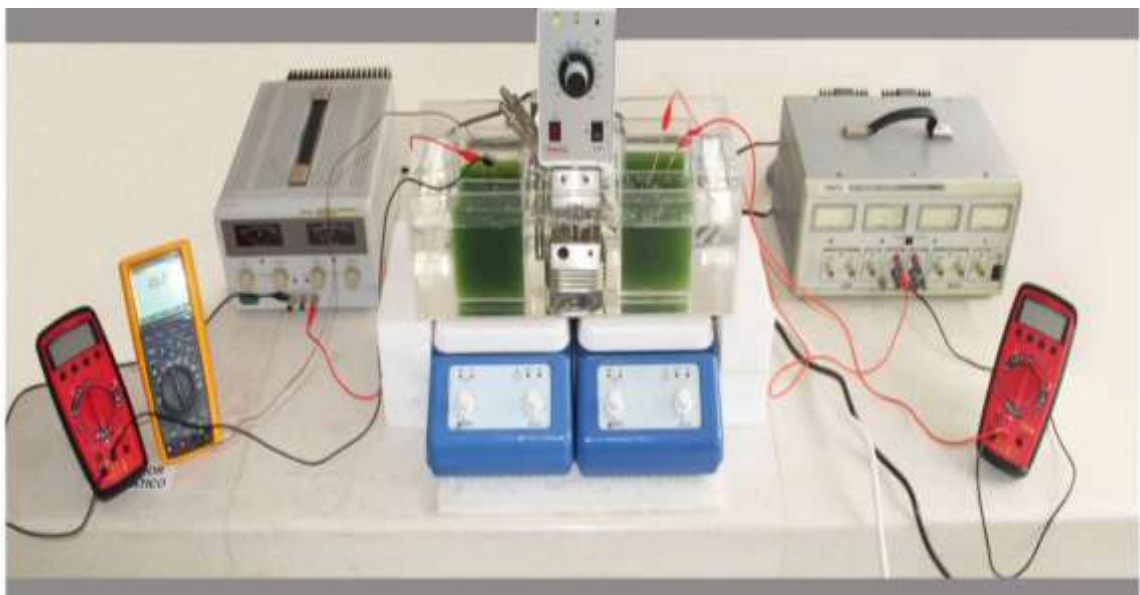
Fuente: Grupo de investigación GP&SE de la Universidad Central.

La minimización de los riesgos de contaminación, proliferación de bacterias y protozoarios, se evitó mediante la conexión de botellas con aire estéril, hipoclorito y botellas con agua destilada. La figura 4 muestra la conexión de montaje para realizar la curva de crecimiento. Este procedimiento se realizó durante dos meses y recuento cada dos días, se realizaron controles de crecimiento; donde se tomaba una muestra de 20 ml de cada una de las botellas con algas, se homogenizaba la muestra en el mixer, por último, se tomaba la concentración a 550 nm y se devolvía la muestra a la botella. La curva de crecimiento se construyó graficando la concentración (g/ml) versus el tiempo (días).

4.2.4 Recuperación de microalgas por electrocoagulación

El proceso de cosecha y separación de la cianobacteria *Anabaena* sp, se basó en trabajos previos de electrocoagulación con la microalga *Chorella* sp, realizados por el grupo de investigación. La Figura 5 muestra el reactor de electrocoagulación para realizar todos los experimentos de recuperación de biomasa de *Anabaena* sp.

Figura 5. Montaje de recuperación de biomasa algal



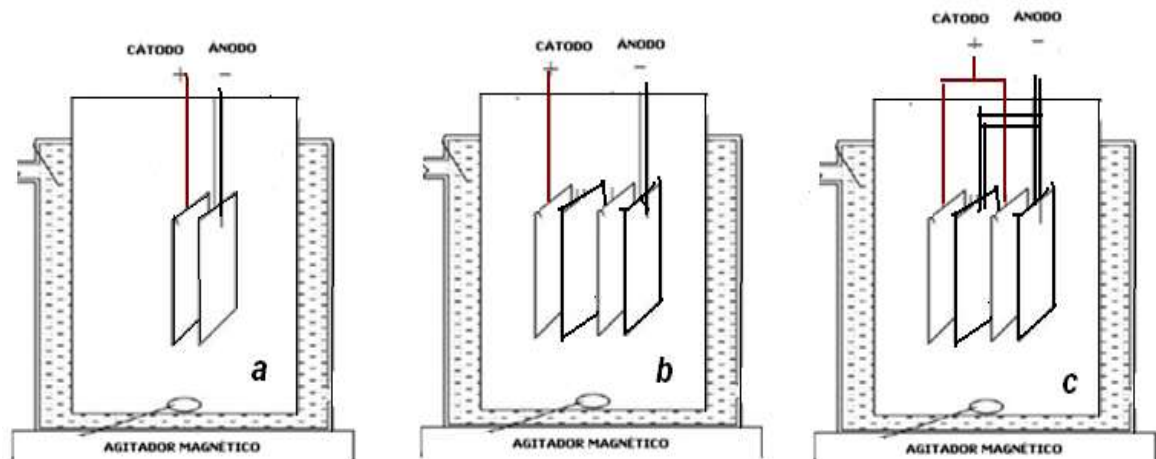
Fuente: Grupo de investigación GP&SE de la Universidad Central.

Se realizaron ensayos preliminares, para analizar el tipo de electrodo, distancia, área superficial y configuración de los electrodos.

Para analizar la configuración de electrodos y el tipo de electrodos se trabajó con electrodos de aluminio, hierro y acero Hot Rolled. Los electrodos se ubicaron a diferentes distancias y se varió la configuración: dos electrodos, monopolar y bipolar, como se muestra en la Figura 6.

La variación de la configuración de los electrodos se realizó con el fin de evaluar el proceso a las mismas condiciones de densidad de corriente. La configuración de dos electrodos es basada en una conexión en paralelo de dos placas separadas cierta distancia, la configuración monopolar es una conexión de cuatro placas conectadas en paralelo y sometidos al mismo potencial, y la configuración bipolar es una conexión de cuatro placas donde los electrodos de los extremos se conectan a la fuente [1,2].

Figura 6. Configuración de electrodos, a. configuración de dos electrodos; b. configuración bipolar. c configuración monopolar.



Debido a la baja conductividad del medio algal, se trabajó con cloruro de sodio (NaCl) para aumentar la conductividad. Una vez establecidas las condiciones iniciales y la configuración de electrodos se procedió a evaluar la densidad de corriente, conductividad, pH y concentración inicial sobre el porcentaje (%) de remoción de biomasa determinada por absorbancia a 550 nm. De acuerdo con el método usado por Brookes et al. [1], el porcentaje (%) de remoción fue calculado por la siguiente ecuación:

$$\%Rm = \frac{C_o - c_f}{C_o} \times 100 \quad (10)$$

Donde % Rm es el porcentaje de remoción (%), C_o es la absorbancia antes del proceso de electrocoagulación; y C_f es la absorbancia después del proceso de electrocoagulación.

El proceso de electrocoagulación se estudió en función del voltaje, conductividad, pH y concentración inicial, dejando constantes las otras variables.

Para analizar el efecto de la densidad de corriente, se varió el voltaje en 5 V, 10 V, 15 V y 20 V; dejando constante la temperatura, conductividad, concentración inicial y pH.

Se adicionó NaCl y se fijaron cuatro conductividades a: 200 $\mu\text{S/cm}$, 500 $\mu\text{S/cm}$, 1000 $\mu\text{S/cm}$ y 1500 $\mu\text{S/cm}$; dejando constante la temperatura, pH y voltaje.

Para analizar el efecto del pH sobre el proceso de electrocoagulación, se modificó el pH con hidróxido de sodio y ácido clorhídrico; trabajando tres pH diferentes a: 7, 9 y 12; dejando constantes la temperatura, voltaje y conductividad.

Para analizar el efecto de la concentración inicial, se midió la absorbancia a 550 nm en 0,800, 0,900 y 1,000; dejando constante la temperatura, pH, conductividad y voltaje. Todos los ensayos se realizaron por duplicado y se tomaron datos de concentraciones en función del tiempo, para determinar el tiempo óptimo de operación.

De acuerdo con el método propuesto por Brookes et al. [1], el consumo de energía E (en kWh/ Kg de biomasa) fue calculado como:

$$E = \frac{U \cdot I \cdot t}{\%RmVC_o} \times 100 \quad (11)$$

Donde E es el consumo de energía en (kWh/Kg); U es voltaje en Voltios; I es la corriente en Amperios; t es el tiempo de electrocoagulación del procesos en horas; % Rm es porcentaje de remoción, C_o es la concentración antes del proceso de electrocoagulación (g/ml) y V es el volumen del medio algal en m^3 .

4.2.5 Evaluación de residuos de los metales

La evaluación del residuo de los metales sobre el proceso de electrocoagulación, se realizó en aquellos experimentos que mostraron óptima separación.

De cada uno de los experimentos óptimos, se procedió a pesar la biomasa electrocoagulada, para ser secada en un horno a 65°C durante 12 horas hasta peso constante. Seguidamente se procedió a filtrar el medio sobrenadante en una membrana de 0,45 µm y luego a una membrana de jeringa de 0,20 µm. Al medio filtrado en la membrana de jeringa se le aplicó ácido nítrico al 65 % de pureza, para dejarlo con un pH menor a dos y luego proceder a evaluar el grado de contaminación de metales de aluminio suspendidos en el agua remanente [1] [2] [11] [34]. La digestión de biomasa seca, se realizó a cada una de las muestras agregando 20 ml de ácido nítrico y 1mL de peróxido de hidrogeno hasta destruir material orgánico.

El grado de contaminación de la biomasa obtenida y del agua remanente durante el proceso de electrocoagulación se determinó con la concentración de metales aportados por el cátodo de sacrificio mediante espectroscopía de absorción atómica [34].

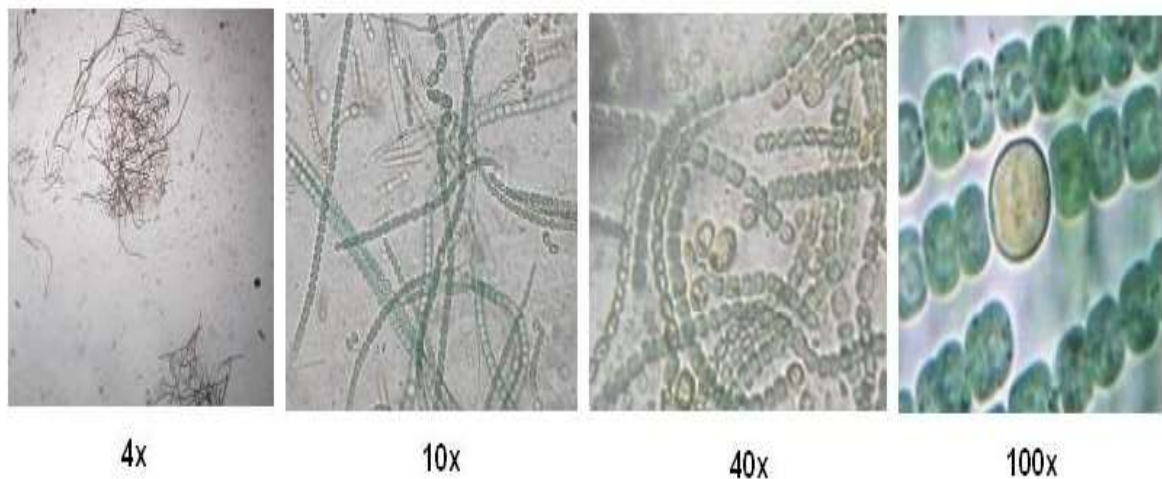
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 CURVA DE CALIBRACIÓN DE ABSORBANCIA A 550 nm vs CONCENTRACIÓN

Como se mencionó anteriormente la concentración de *Anabaena* sp se determinó mediante una curva de calibración de la cantidad de biomasa por ml contra absorbancia a 550 nm. En la Figura 7, se observa que la *Anabaena* sp no es unicelular, forma colonias entre ellas y cumple con las características morfológicas según el manual de Bergey [46] . Las características son:

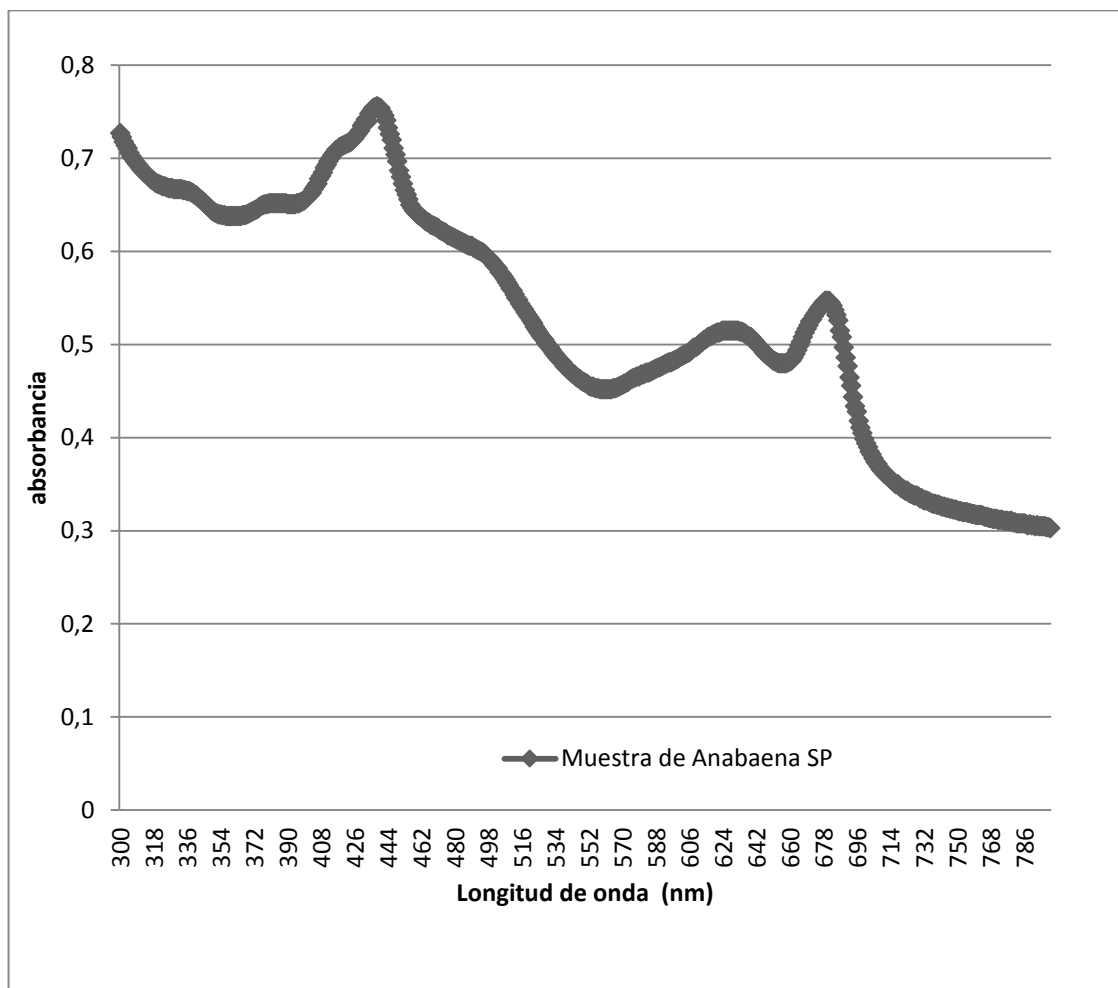
- “Células vegetativas esféricas, cilíndricas o en forma de barril y separadas por constricciones visibles en la pared celular”.
- “Los heterocistos se encuentran predominantemente en forma intercalada”,
- “Los acinetos se les puede encontrar separados o agrupados”

Figura 7. *Anabaena* sp vista desde diferentes objetivos



El procedimiento se realizó de acuerdo a la literatura, se realizó un barrido de densidad óptica a una longitud de onda inicial de 300 nm y una longitud de onda final de 800 nm, de tal modo que se conociera la turbidez de las muestras y no la interferencia del pigmento del alga en las muestras [39-42]. La Figura 8 muestra el resultado obtenido de la curva de barrido.

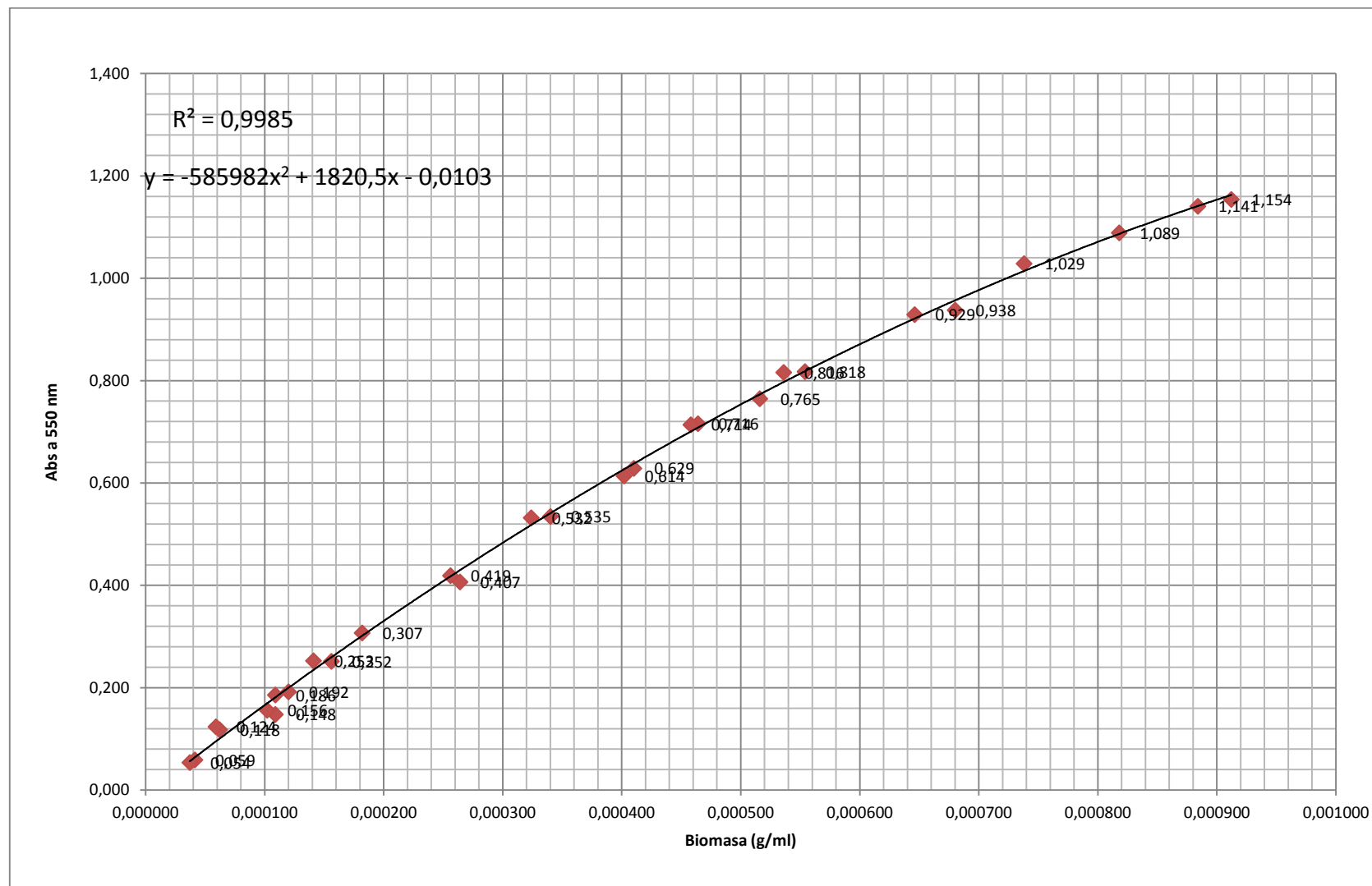
Figura 8. Curva de barrido muestra de *Anabaena* sp



En la curva de barrido de la Figura 8 se obtuvo los máximos de absorbancia, donde se comprobó que los resultados obtenidos concuerdan con las recomendaciones de la EPA y la literatura. Es decir que los picos máximos de absorbancia son característicos del pigmento del alga, y los valores mínimos son debidos a la turbidez de la biomasa en suspensión. Debido a que la absorbancia presentada a 550 nm permite trabajar un rango más amplio de concentraciones, ésta fue escogida para la realización de la curva de calibración y los posteriores ensayos de electrocoagulación.

La Figura 9 muestra la curva de calibración para *Anabaena* sp a una longitud de onda 550 nm.

Figura 9. Curva de calibración a 550 nm



Por medio de la curva de calibración se determinó la concentración de biomasa algal en (g/ml) de *Anabaena* sp, cuando una muestra es medida a cierta absorbancia. Se observa que al comparar la concentración de las muestras que se midieron con la misma absorbancia, existe una concentración muy similar entre ambas.

La curva de calibración muestra que la máxima absorbancia medida en una muestra de *Anabaena* sp fue de 1,154 y la mínima absorbancia medida fue de 0,054; es decir que a una absorbancia de 1,154 se encuentra una concentración de *Anabaena* sp de: $9,12 \times 10^{-4}$ g/ml; y a una absorbancia de 0,054, se encuentra una concentración de $3,72 \times 10^{-5}$ g/ml.

5.2 ETAPAS DE CRECIMIENTO DE LA *Anabaena* sp

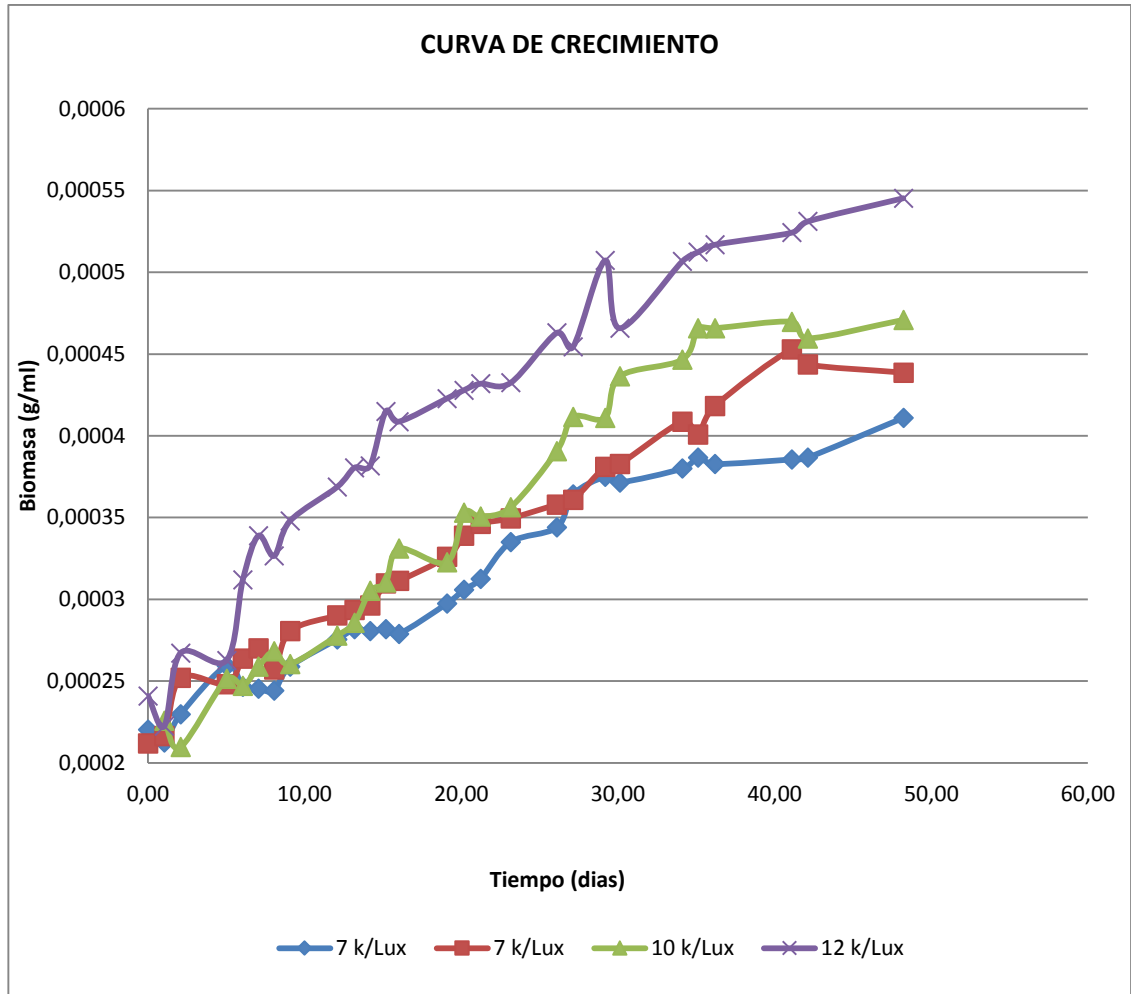
Los resultados obtenidos en la determinación de las etapas de crecimiento de *Anabaena* sp se observan en la Figura 10, donde muestra el crecimiento en biomasa según el tiempo de cada uno de los experimentos a cierta intensidad lumínica en klux.

La gráfica muestra la dinámica en cada una de las etapas, después del primer mes, el crecimiento en biomasa de la *Anabaena* sp tiende a ser constante. Se observó que el crecimiento en biomasa dependió de la intensidad lumínica. Las intensidades lumínica de las botellas uno y dos fue de 7 k/lux, la botella tres de 10k/Lux y la botella cuatro de 12 k/Lux. Las diferencias observadas entre las mismas intensidades lumínicas son debidas al efecto de la concentración inicial y a las incertidumbres del experimento.

La dinámica de crecimiento observada por medida de biomasa diaria permite establecer un comportamiento definido y reproducible en las condiciones establecidas, y que corresponde con reportes previos. Las curvas de crecimiento dependen de la intensidad lumínica, presentándose un mayor crecimiento en biomasa a la mayor intensidad lumínica.

Las gráficas muestra dos intensidades lumínicas de 7k/lux rojo y azul, donde 7 k/Lux rojo representa la dinámica de crecimiento de la botella 2, y siete k/Lux azul representa la dinámica de la botella uno. No existe diferencia en un aumento o disminución de la intensidad lumínica, pero si presenta una leve diferencia en el crecimiento de biomasa.

Figura 10. Curva de crecimiento de la *Anabaena sp*



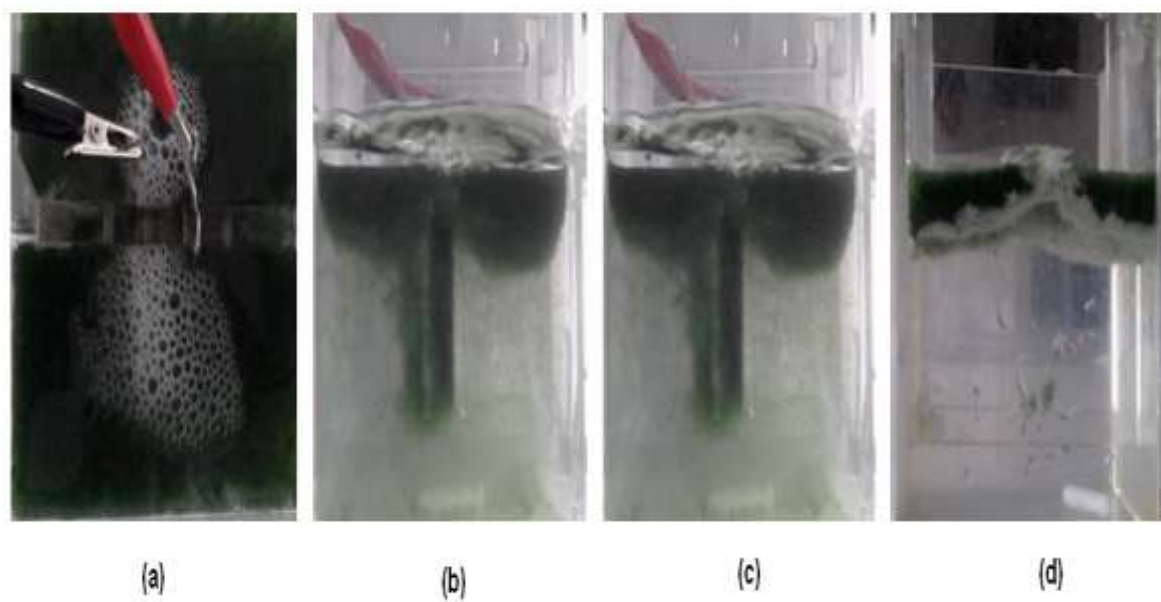
Se observó que la *Anabaena sp* crecía en biomasa, sin necesidad de alimentarla con medio BG – 11₀. Se cree que este crecimiento en biomasa se debe a que las cianobacterias pueden sobrevivir y reproducirse solamente con luz y fijación del nitrógeno presente en el aire.

5.3 REMOCIÓN DE BIOMASA POR ELECTROCOAGULACIÓN

El proceso de electrocoagulación es afectado por un gran número de variables como tipo y configuración de los electrodos, densidad de corriente, conductividad, concentración inicial, temperatura y tiempo de operación [1,2, 11], se presentan los datos de las variables estudiadas.

En la Figura 10 se muestra el procedimiento de uno de los experimentos de electrocoagulación. En (a) se observa la conexión del ánodo y cátodo en la celda de electrocoagulación; en (b) y (c) se observa que a través del tiempo, las partículas se desestabilizan y se hacen hidrofóbicas al agua [1,2]; y por último, en (d), se observan las microburbujas de hidrógeno y oxígeno producido por el ánodo y el cátodo, y el resultado final de las algas electrocoaguladas.

Figura 11. Biomasa recolectada en una celda de soporte

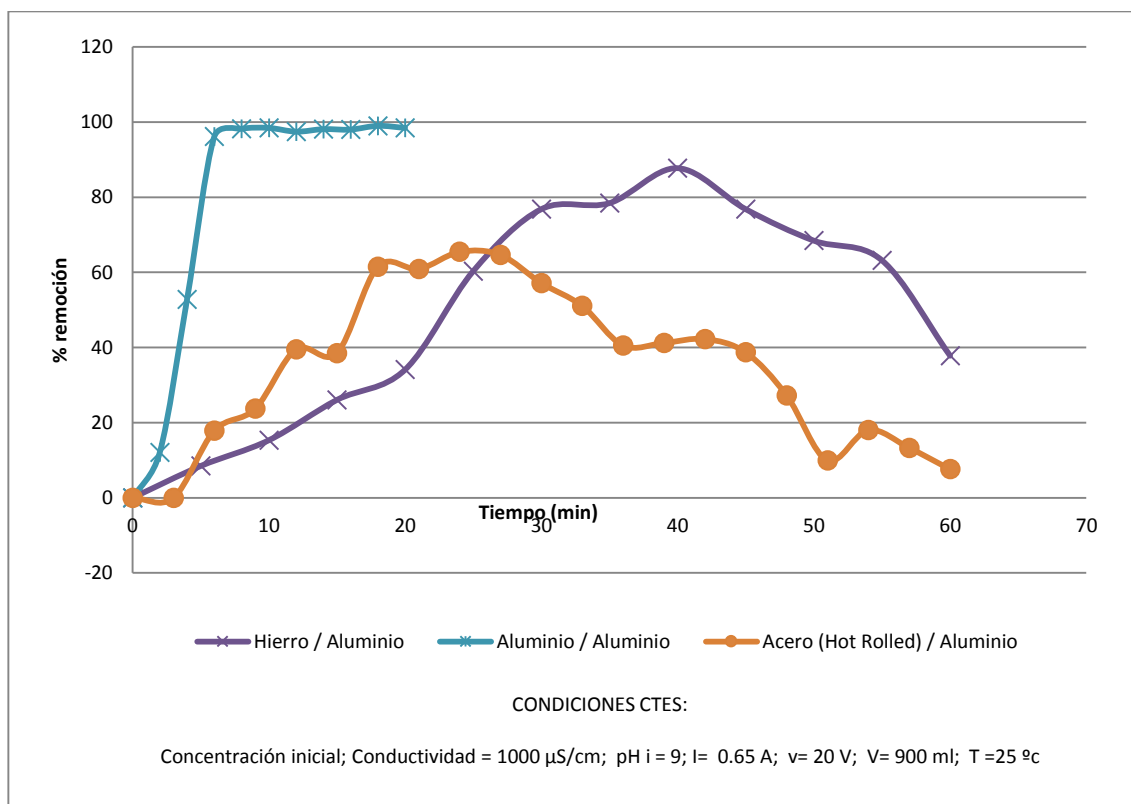


El efecto del material de electrodo en función del porcentaje de remoción se puede observar en la Figura 12. Este efecto, se analizó haciendo uso de aluminio, hierro y acero (Hot Rolled) como ánodo de sacrificio; y aluminio como cátodo. Los datos obtenidos se presentan en el anexo 1.

El uso de electrodos de Aluminio / Aluminio, es más eficiente, ya que su tiempo de electrocoagulación fue a los 6 minutos y su porcentaje de remoción fue mayor al 95%. Por tanto se puede confirmar que existe un efecto en el material de electrodo.

Los electrodos Hierro / Aluminio y Acero /Aluminio presentaron electrocoagulación de la biomasa en un tiempo relativamente largo y su porcentaje de remoción fue menor al 80%. A medida que aumentaba el tiempo de electrocoagulación, el comportamiento de la gráfica cambia y se presenta una disminución en el porcentaje de remoción, debido a la oxidación del hierro que con el tiempo dejaba partículas en el medio sobrenadante con un color amarillo ocre que provocaba el aumento de la turbidez del medio.

Figura 12. Efecto del material de electrodo en función del porcentaje del remoción.



La foto de la Figura 13 muestra el efecto que hay al usar electrodos de diferente material, y como el medio sobrenadante presenta poca remoción de algas, coloración amarilla ocre y un alto grado de oxidación, mientras que el uso de electrodos de aluminio presenta un alto porcentaje de remoción y un medio sobrenadante con poca turbidez.

Figura 13. Resultados efecto del material de electrodo



Efecto del material con electrodos de Aluminio



Efecto del material con electrodos de Hierro

La pérdida en peso se halló mediante la diferencia del peso los electrodos antes y después del proceso de electrocoagulación, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3, se observa que el hierro y acero tuvieron una gran pérdida en peso, lo que puede explicar una gran cantidad de hierro soluble en el medio, y el responsable de cambiar la turbidez del medio debido a la oxidación de este metal.

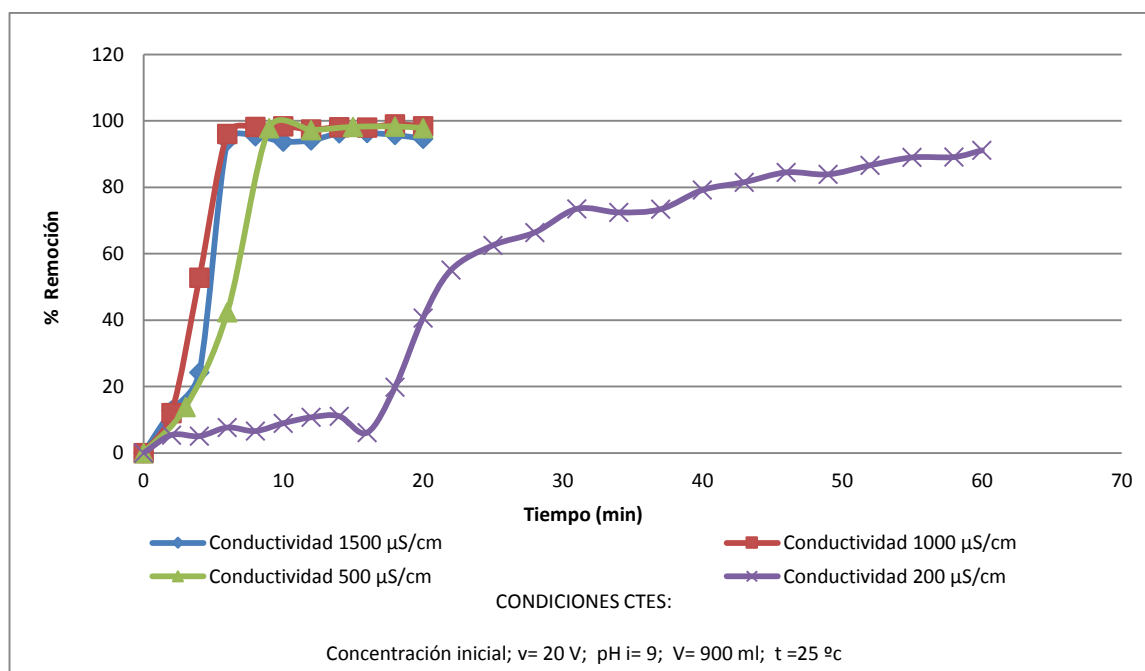
Tabla 2. Perdida de peso en el material de electrodo

EXPERIMENTO	MATERIAL (ANODO/CATODO)	PERDIDA EN PESO (g)
1	Hierro	0,3310
	aluminio	0,0476
2	acero	0,5775
	aluminio	0,0781
3	aluminio	0,0980
	aluminio	0,0135

La prueba de electrocoagulación con electrodos de Aluminio/Aluminio, dio como resultado un menor desgaste del metal, su pérdida en peso fue de 0.0980 g y 0.0135 g. El hierro tuvo una pérdida en peso de 0.3310, y el acero 0.5775; trayendo como resultado una alta oxidación en el medio líquido, un porcentaje de remoción bajo y una absorbancia alta. Por lo tanto se escogió el aluminio como el electrodo de sacrificio para todos los ensayos posteriores.

La figura 14, presenta los resultados obtenidos en el porcentaje de remoción, cuando se hace una variación en la conductividad.

Figura 14. Efecto de la conductividad en función del porcentaje de remoción.

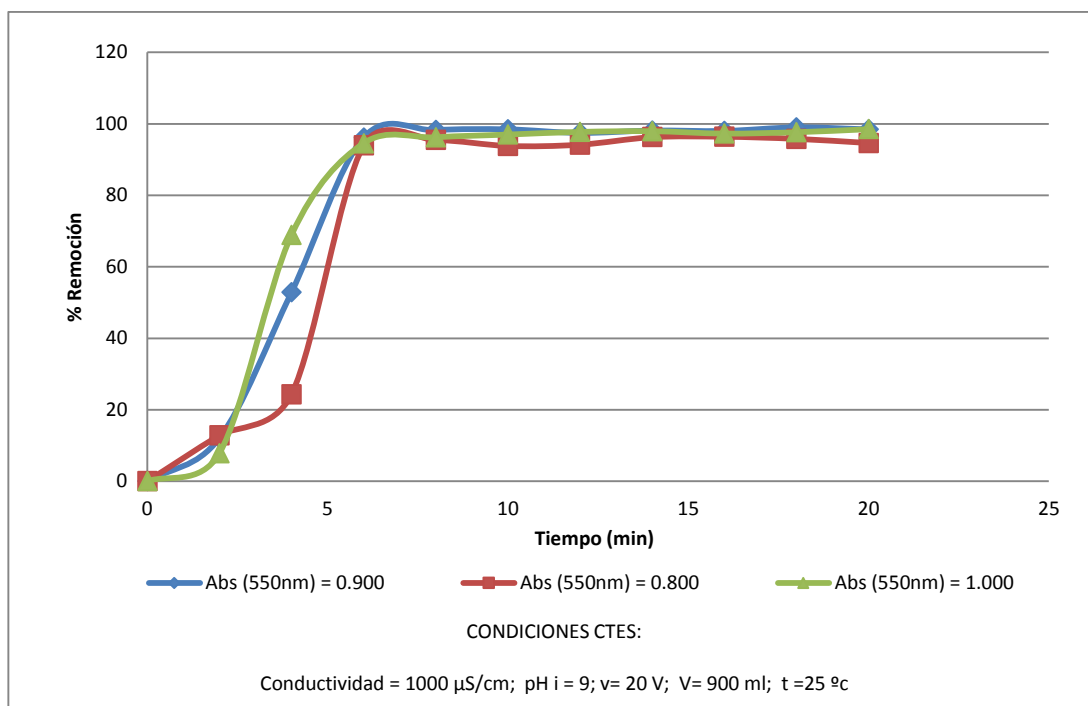


Debido a que la conductividad del medio es muy baja, fue necesario aumentar la conductividad con cloruro de sodio (NaCl). Se observa que a partir de una conductividad de $500 \mu S/cm$, el efecto de la conductividad en el tiempo de electrocoagulación es muy poco; pero si hay efecto en el aumento de la intensidad de corriente, tal como lo menciona la literatura [12]. Sin embargo se observó que a una alta conductividad, mayor es el consumo de energía. A $200 \mu S/cm$, el tiempo de electrocoagulación se debió a que el medio no tuvo los elementos suficientes para transportar la carga eléctrica [12,14].

Fijando las concentraciones de la biomasa realizando diluciones y midiendo la absorbancia a 550 nm, se estudió el efecto de la concentración inicial a 0,800,

0,900 y1,000. En la figura 15, se observan los resultados en el porcentaje de remoción, cuando se trabajó a diferentes concentraciones.

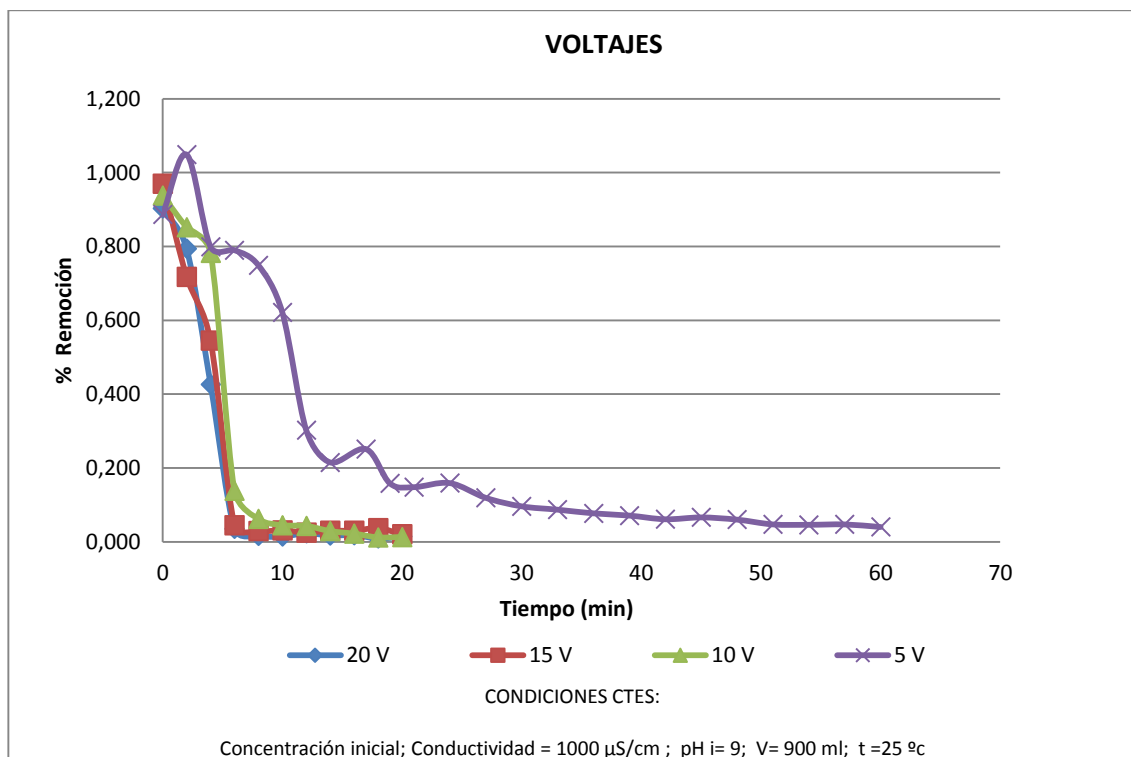
Figura 15. Efecto de la concentración en función del porcentaje de remoción



Como resultado se observa que no hay efecto de la concentración inicial sobre el proceso de electrocoagulación, y al tiempo de 6 minutos los experimentos electrocoagularon. Se obtuvo un porcentaje de remoción de: 96,12 % para una concentración correspondiente a una absorbancia a 550 nm de 0,900; 93.93% para una concentración de 0,800; y 94.54 % para una concentración correspondiente a una absorbancia de 1,000.

En cuanto a la densidad de corriente, corriente aplicada por unidad de área sumergida de electrodo [13], la Figura 16 muestra los resultados variando los voltajes a 5 V, 10 V, 15 V y 20 V. Los datos obtenidos se presentan en las tablas del anexo 1.

Figura 16. Efecto del voltaje en función del porcentaje de remoción

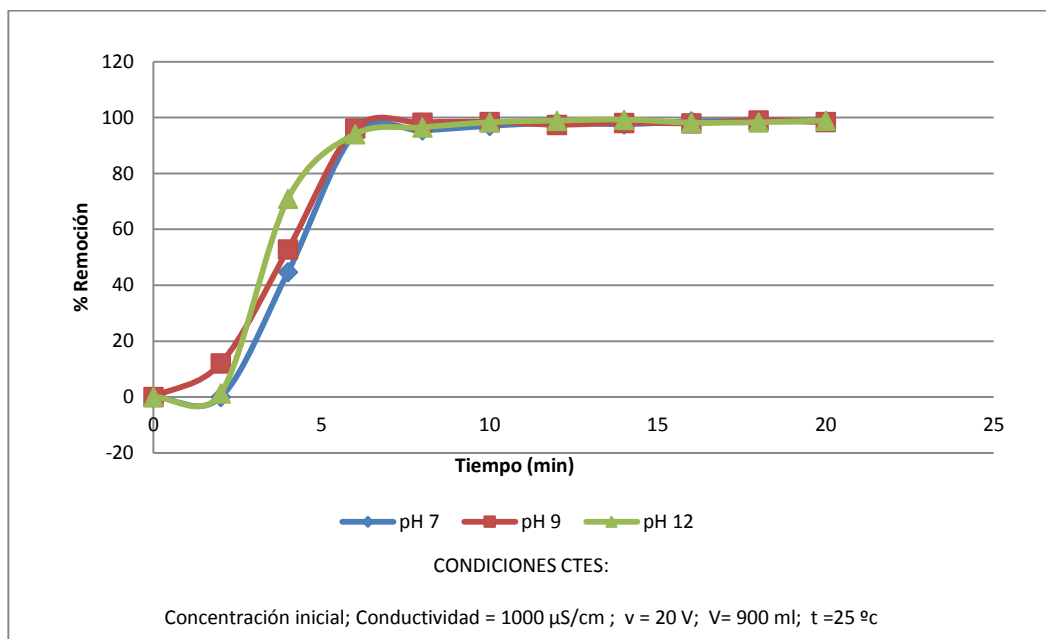


En la figura 16 se observa que variar el voltaje, afecta en los procesos de electrocoagulación, esto se debe a que menor voltaje, mayor va a ser el tiempo de electrocoagulación y menor la intensidad de corriente en el medio.

Se obtuvo como resultado lo siguiente: con un voltaje de 20 V, el proceso electrocoagula a los 6 minutos, con un porcentaje de remoción del 96.12 % y una absorbancia de 0,035. A un voltaje de 15V, el proceso electrocoagula a los 6 minutos, con un porcentaje de remoción del 95.36 % y una concentración de algas de 0,045 en absorbancia, con un voltaje de 10 V, el proceso electrocoagula a los 10 minutos, con un porcentaje de remoción del 92.06 % y una absorbancia de 0,045. Para terminar a un voltaje de 5 V, el proceso electrocoagula a los 33 minutos, con un porcentaje de remoción del 90.19 % y una absorbancia de 0,087.

Para analizar la variable que afecta el pH, se trabajó con pH a 7, 9 y 12; dejando constante la temperatura, voltaje y conductividad. La figura 17 muestra el porcentaje de remoción a cada uno de los pH estudiados.

Figura 17. Efecto del pH en función del porcentaje de remoción

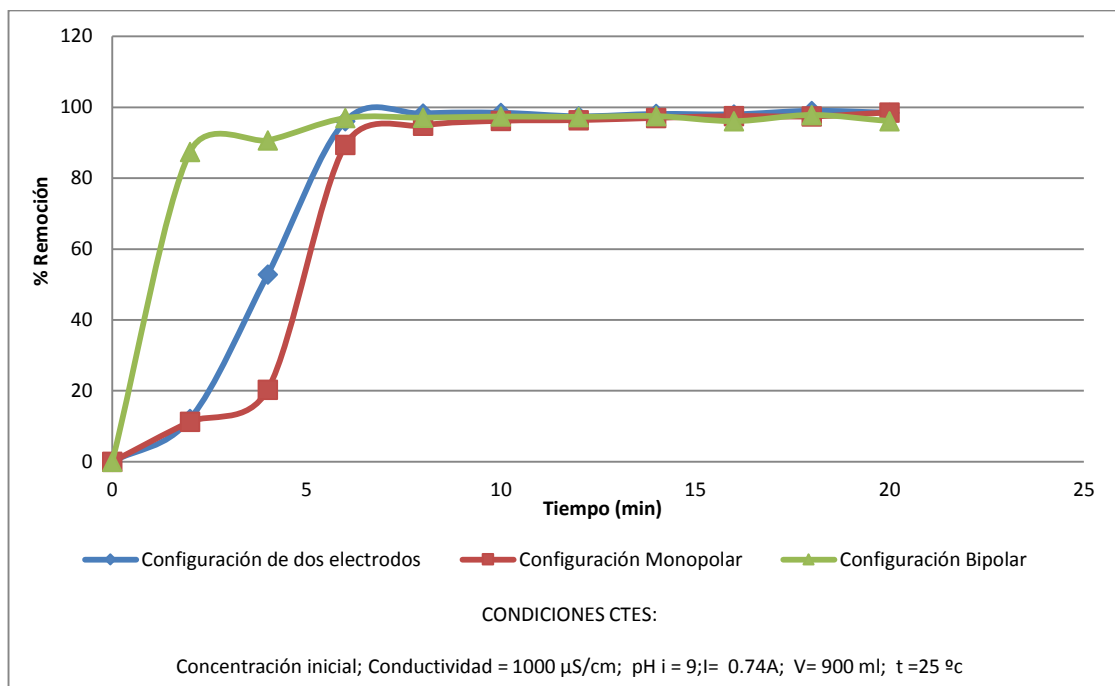


El pH determina el tipo de especies iónicas que actúan como coagulantes. Influye en la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar el hidróxido [14].

Comparando los tres pH, se encontró que no hubo influencia en el tiempo de electrocoagulación, los tres experimentos de pH electrocoagularon al tiempo de 6 minutos. Con un pH a 9 se obtuvo como resultado una remoción del 98%. Se observó que el pH del medio algal, siempre fue de 9 a 10, sin necesidad de variar el pH se obtuvo un mayor porcentaje de remoción. Con pH a 7 y a 11, se aplicó al medio algal: NaOH y HCl; teniendo como resultado una variación en la intensidad de corriente, y un porcentaje de remoción del 94 %. Los resultados obtenidos, validan las observaciones hechas en la literatura; la variación del pH influye en la eficiencia de la corriente [12,14].

A continuación se muestran los resultados del porcentaje de remoción de biomasa en función de la configuración de electrodo, se puede visualizar en la Figura 17. Las configuraciones de electrodo estudiadas fueron de dos electrodos, monopolar y bipolar.

Figura 18. Efecto de la configuración de electrodo en función del porcentaje de remoción.



Comparando los resultados de cada una de las configuraciones (ver Figura 6), se puede concluir que en 6 minutos, todas las configuraciones alcanzan su máximo porcentaje de remoción algal, y su mínima concentración de algas suspendidas en medio líquido. Se observó que hay efecto en la intensidad de corriente y en la configuración de electrodos; ya que la configuración bipolar electrocoagula a menor tiempo.

Las variables estudiadas fueron analizadas por un análisis de varianza usando la variable de respuesta el porcentaje de remoción de biomasa. Se concluye que el efecto principal sobre el proceso de electrocoagulación está dado por el voltaje, las otras variables no tienen efecto significativo sobre el proceso.

5.3.1 Consumo de energía

El consumo de energía se calculó haciendo uso de las ecuaciones (10) y (11) en kWh/ Kg de biomasa. La tabla 4 muestra los resultados obtenidos de cada uno de los procesos de electrocoagulación en función del porcentaje de remoción.

Tabla 3. Consumo de energía

RESULTADOS CONSUMO DE ENERGIA			
VARIABLE	CONDICIONES		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)
Efecto del material de electrodo	Conductividad, pH, voltaje y concentración inicial constantes	Electrodo Hierro / Aluminio	17,4502
		Electrodo Aluminio / Aluminio	3,3996
		Electrodo Acero/ aluminio	15,3383
Efecto de la configuración de electrodo	Conductividad, pH, Corriente y Concentración inicial constantes	Configuración de dos electrodos	3,3996
		Configuración monopolar	2,5094
		Configuración bipolar	2,6181
Efecto de la Conductividad	pH, voltaje, y concentración inicial constantes	conductividad 1500 $\mu\text{S/cm}$	5,0418
		conductividad 1000 $\mu\text{S/cm}$	3,3996
		conductividad 500 $\mu\text{S/cm}$	2,8093
		conductividad 200 $\mu\text{S/cm}$	6,1256
Efecto de la concentración inicial	Conductividad, pH, Voltaje constantes	Concentración de 0,9	3,3996
		Concentración de 0,8	3,3048
		Concentración de 1	2,5022
Efecto del voltaje	Conductividad, pH y concentración inicial constantes	20 V	3,3996
		15 V	2,0725
		10 V	1,1819
		5V	2,1142
Efecto del pH	Conductividad, voltaje y concentración inicial constantes	pH 7	4,0346
		pH 9	3,3996
		pH 11	3,8106

Los resultados experimentales de la recuperación de *Anabaena* sp indico que, a una alta densidad de corriente, menor es el tiempo de electrocoagulación, y a una baja densidad de corriente el tiempo es más largo. Desde el punto de vista de consumo de energía, en los datos de la Tabla 4 muestra que a un voltaje de 10 V, una conductividad de 1000 $\mu\text{S/cm}$ y a los 8 minutos de haber electrocoagulado, el consumo de energía es de 1,1819 kWh/ Kg, mostrando que es el experimento con menor consumo de energía.

Se encontró que los electrodos de hierro y acero provocan un mayor consumo de energía. El consumo de energía con el electrodo de hierro fue de 17 kWh/ Kg y el de acero fue de 15 kWh/ Kg, con un tiempo de 60 minutos. Los resultados muestran que el consumo de energía de los otros experimentos, estuvieron entre 1 y 5

kWh/Kg. Estos análisis indican que el mínimo de energía consumido por unidad de biomasa algal, es recuperado mucho menor si se utilizan densidades de corrientes más bajas que cuando se utilizan densidades de corrientes más altas [47].

5.4 DETERMINACION DE METALES DE ALUMINIO

La determinación de metales de aluminio, se realizó por absorción atómica, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5. Esta tabla muestra los experimentos que mostraron óptima separación, la absorbancia y la concentración de aluminio en el medio sobrenadante y la biomasa recolectada.

Tabla 4. Metales de aluminio disueltos

Al DISUELTO EN LA BIOMASA DE <i>Anabaenasp</i>			
CONDICIONES		Abs a 550 nm	CONCENTRACIÓN DE Al [mg/l]
Conductividad, voltaje y concentración inicial constantes	pH7	0,0506	114,433
	PH11	0,0542	122,743
	pH 9	0,0468	105,583
Conductividad, pH y concentración inicial constantes	10V	0,0259	231,47
	15V	0,0417	375,64
	20V	0,0468	105,583
pH, voltaje, y concentración inicial constantes	500 μ S/cm	0,036	323,28
	1000 μ S/cm	0,0468	105,583
	1500 μ S/cm	0,0356	79,92
Al DISUELTO EN EL MEDIO BG-11(0)			
CONDICIONES		Abs a 550 nm	CONCENTRACIÓN DE Al [mg/l]
pH, voltaje, y concentración inicial constantes	1500 μ S/cm	0,0257	22,941
	1000 μ S/cm	0,0143	12,446
	500 μ S/cm	0,0107	9,145
Conductividad, voltaje y concentración inicial constantes	pH 7	0,0283	25,31
	pH 9	0,0143	12,446
	pH 11	0,0365	32,781
Conductividad, pH y concentración inicial constantes	20 V	0,0143	12,446
	15 V	0,0128	11,108
	10 V	0,0125	10,794

Los resultados obtenidos, respecto al aluminio disuelto en la biomasa recolectada fue el siguiente: la mayor concentración de Al fue de 375, 64 mg/l, del experimento de efecto del voltaje a 15 V; y la menor concentración de Al fue de 79.92 mg/l, del experimento de efecto de la conductividad a 1500 μ S/cm. Analizando la concentración de aluminio en el medio sobrenadante, se observa que el Al disuelto es bajo, con valores menores a 32,781 mg/l.

A una alta conductividad, menor es el desgaste de aluminio en la electrocoagulación, y a bajos voltajes, el aporte de aluminio es significativamente alto. Lo que significa que si se trabaja con la conductividad y el voltaje alto, menor va ser la concentración de aluminio aportado en el proceso de electrocoagulación

Se observó, que la mayor concentración de aluminio disuelto quedó en la biomasa de *Anabaena* sp recolectada, y la menor concentración se encontró en el sobrenadante. Este resultado se debe a que el aluminio reacciona formando hidróxido de aluminio, lo cual permite servir como coagulante para que las partículas de algas se desestabilicen, y así mismo la gran mayoría de concentración de aluminio quede disuelto en la biomasa separada [1].

6. CONCLUSIONES

- La luz solar y el aire atmosférico, hace posible el crecimiento en biomasa de la *Anabaena* sp. Debido a que las cianobacterias aprovechan la luz solar y fijan el nitrógeno presente en el aire como única fuente de alimento, hay efecto de la intensidad lumínica y aire sobre el crecimiento en biomasa de la *Anabaena* sp en medio BG – 11₀. Se encontró que a una mayor intensidad lumínica, mayor es el crecimiento en biomasa de la *Anabaena* sp; y a menor intensidad lumínica, menor es el crecimiento en biomasa. Debido a que la *Anabaena* sp no es unicelular, el método de determinación de biomasa por curva de calibración, es la mejor opción, teniendo en cuenta que se debe medir la absorbancia a 550 nm, ya que a esa longitud de onda se encuentra la turbidez y no la clorofila de la cianobacteria [40-42].
- Separar biomasa algal de *Anabaena* sp a partir de electrocoagulación, es posible. Aunque los electrodos de hierro y acero se oxidan rápidamente, y no desestabilizan muy bien las algas en suspensión; hacer uso del aluminio como ánodo, es mucho más viable y eficiente que los otros metales. La liberación de aluminio desde el ánodo de sacrificio fue menor. La liberación de metales de hierro y acero en el proceso de electrocoagulación fue mayor, lo que significa que hay un mayor desgaste del electrodo, dejando una gran cantidad de metales disueltos.
- El tiempo de remoción y la eficiencia del proceso electrocoagulación, dependió significativamente de un aumento de la conductividad y aumento de las densidades de corrientes. Debido a que la *Anabaena* sp, sembrada en medio BG-11 (0), tiene una conductividad muy baja, al no aumentar la conductividad del medio, el proceso de electrocoagulación se ve afectado en su eficiencia y tiempo de remoción. Aunque las conductividades y densidades de corriente más altas, dan lugar a una rápida desestabilización de las partículas, también dio lugar a un mayor consumo de energía. Por otro lado, se obtuvo que no hay efecto de la concentración inicial sobre el proceso de electrocoagulación. Y la variación del pH, no afecta la eficiencia y tiempo de remoción.
- Por último, el grado más alto de contaminación de aluminio disuelto, se encontró en la biomasa recolectada. El agua remanente del proceso de electrocoagulación tuvo la menor concentración de aluminio.

7. RECOMENDACIONES

- Hacer estudios en celdas de electrocoagulación a mayor escala y combinarlos con técnicas de recuperación de la biomasa, tales como la sedimentación o flotación. Debido a que hay poca literatura referente al tiempo de retención, eficiencia, y porcentaje de remoción en una celda de mayor escala [38], se recomienda hacer estudios al respecto.
- Se recomiendan experimentar con otras configuraciones y tipo de electrodos, como por ejemplo mallas, de tal forma de incrementar el área superficial y posiblemente aumentar la eficiencia del proceso.
- La literatura, presenta resultados de electrocoagulación a escala de laboratorio. Estudiar los resultados a prueba piloto pueden contribuir al desarrollo de nuevos resultados y tecnologías más limpias.
- Las altas concentraciones de aluminio tienen un impacto negativo en la salud humana, crecimiento de las algas y del medio ambiente [48]. Para evitar la presencia de aluminio en la biomasa recolectada, se recomienda trabajar con pH básico de tal forma que precipite las partículas de aluminio en el proceso de electrocoagulación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Gao, «Electrocoagulation flotation process for algae removal,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 177, pp. 336-343, November 2009.
- [2] A. P. R. Mejia, «La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas,» *P+L*, pp. 58-77, Junio 2006.
- [3] J. A. A. Rojas, «Tecnologías ambientalmente sostenibles,» *P+L*, vol. I, nº 2, pp. 79-86, Febrero 2007.
- [4] P. M. J. G. M. K. J. P. D. M.Y.A. Mollaha, «Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation,» *J. Hazard. Mater*, vol. B 114, pp. 199-210, 2004.
- [5] M. S. M.M. Emamjomeh, «Review of pollutants removal by electrocoagulation,» *Environ. Manage*, nº 90, p. 1663–1679, 2009.
- [6] R. S. Logan Christenson, «Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts,» *Biotechnology Advances*, nº 29, p. 686–702, 2011.
- [7] F. P. García, «ELECTROCOAGULACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA DEPURACIÓN DE LACTOSUERO RESIDUAL,» *RESIDUAL*, pp. 51-77, 2012.
- [8] J. W. Paul Anastas, *Green Chemistry: Theory and Practice*, United Kingdom: oxford univ pr, 2000.
- [9] P. Colonna, *La química verde*, Acribia, 2010.
- [10] F. Couret, *Introducción a la ingeniería electroquímica*, Barcelona: REVERTE S.A., 1992.
- [11] N. Uduman, V. Bourniquel, M. K. Danquah y A. Hoadley, «A parametric study of electrocoagulation as a recovery process of marine microalgae for biodiesel production,» *Chemical Engineering Journal*, pp. 249-257, 2011.

- [12] Á. A. Ruiz, «Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea,» *Producción mas limpia*, pp. 59-67, 2012.
- [13] E. T. P. Piarpuzán, Aplicación de la electrocoagulación y floculación sobre el tratamiento del drenaje ácido de minas de carbón, Cali, 2012.
- [14] W. Heidmann y I. Calmano, «Removal of Zn(II), Cu(II), Ni(II), Ag(I) and Cr(VI) present in aqueous solutions by aluminium electrocoagulation,» *Journal of Hazardous Materials*, 2008, pp. 934-941.
- [15] R. M. H. Perez, «Evaluación de los exopolisacáridos producidos por una cepa nativa de cianobacteria *Nostoc* sp. como sustrato en la producción de bioetanol,» Bogota, 2012.
- [16] F. M.-G. M. Á. M.-M. Francisco Leganés, «Characterization and responses to environmental cues of a photosynthetic antenna-deficient mutant of the filamentous cyanobacterium *Anabaena* sp. PCC 7120,» *Journal of Plant Physiology*, pp. 915-926, 2014.
- [17] J. M. M. G. G. M. G.-G. Marta E. Clares, «Assessment of the CO₂fixation capacity of *Anabaena* sp. ATCC 33047 outdoor cultures in vertical flat-panel reactors,» *Journal of Biotechnology*, pp. 51-55, 2014.
- [18] M. G. C. AGUILAR, AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE *Anabaena* sp. DE LA CAMARONERA SAN AGUSTÍN, MACHALA PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR 2007 Y EVALUACIÓN DE SU CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SAL”, TESIS; ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, 2008.
- [19] B.-G. R. ,. B.-K. K. ,. J.-I. H. c. J.-W. Y. Jungmin Kim, «Continuous microalgae recovery using electrolysis with polarity exchange,» *Bioresource Technology*, pp. 268-275, 2012.
- [20] A. M. F. E. F. S. F. H. Comhaire Y. El Garem, «Combined conventional/antioxidant "Astaxanthin" treatment for male infertility: a double blind, randomized trial,» *Asian J Androl*, nº 7, pp. 257-262, 2005.

- [21] Y. N. G. H. N. N. Kazuhiko Uchiyama, «Astaxanthin protects -cells against glucose toxicity in diabetic db/db mice,» *Redox Report*, vol. 7, nº 5, pp. 290-293, 2002.
- [22] P. John E. Dore, «Astaxanthin and Cancer Chemoprevention,» Hawaii, USA, 2008.
- [23] Y. Chisti, «Research review paper Biodiesel from microalgae,» *Biotechnology Advances*, nº 25, pp. 294-306, 2007.
- [24] N. L. C. A. 1. Bertocchi C., «Polysaccharides from cyanobacteria,» *Carbohydrate Polymers*, vol. I, nº 12, pp. 127-153, 1990.
- [25] P. J. W. .. 2. e. Stoneham, «Industrial Wastewater Treatment Technology,» 2 ed., Stoneham, Ed., Butterworth Publishers, 1985.
- [26] C. A. B. C. Navarinim L., «Polysaccharides from cyanobacteria,» *Carbohydrate Polymer*, pp. 127-153, 1990.
- [27] M. A. B. L. A. V. W. M. María Eugenia González, «EFECTO DE LA INTENSIDAD LUMINICA Y FOTOPERIODO SOBRE LA DINAMICA Y CRECIMIENTO POBLACIONAL DE CHORELLA SP EN MEDIO BBM,,» de *in xiv Congreso nacional de biotecnología y bioingeniería*, Mexico, 2006.
- [28] J. Orozco, «"La densidad de carga del electrolito como parámetro de control de procesos de electrocoagulación,"» *A/NSA,,* pp. pp. 3-30, , 1985.
- [29] G. L. S. ,. F. B. T. J. P. M. Thomas H. Sibley, «"Copper tolerance by the freshwater algal species *Oocystis pusilla* and its ability to alter free-ion copper,"» *Aquatic toxicology* , pp. 68-82, 1998.
- [30] R. Dell, Clean Energy, primera edición ed., J. H. Clark, Ed., Washington: The Royal Society of Chemistry , 2004.
- [31] R. F. C. M. M. S. C. H. M. V. De Philippis, «Morphological and biochemical characterization of the exocellular,» de *Pasteur CULTure*, World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2000, pp. 655-661.

- [32] M. E. G. Jimenez, «EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE AMINOACIDOS EN SOLUCIÓN ACUOSA,» Bogota, 2004.
- [33] M. S. Gaitan, «DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS TOTALES CON DIGESTIÓN ACIDA Y SOLUBLE LECTURA DIRECTA POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA,» Colombia, 2004.
- [34] M. f. c. A. o. w. a. Wastes, «US. Environmental ProtectionAgency,» Cincinnati, 1983.
- [35] sigmaaldrich, Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.sigmaaldrich.com/>.
- [36] Biosci, Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://web.biosci.utexas.edu/utex/mediaDetail.aspx?mediaID=26>.
- [37] M. E. G. ,. A. B. L. Aida Vanessa Wilches Morales, «EFECTO DE LA INTENSIDAD LUMINICA Y FOTOPERIODO SOBRE LA DINAMICA Y CRECIMIENTO POBLACIONAL DE CHORELLA SP EN MEDIO BBM,» de *xiv Congreso nacional de biotecnologia y bioingenieria* , MEXICO, 2006.
- [38] T. H. S. ,. G. L. S. ,. F. B. T. James P. Meador, «Copper tolerance by the freshwater algal species Oocystis pusilla and its ability to alter free-ion copper,» *Aquatic toxicology* , pp. 68-82, 1998.
- [39] C. G. R. P. v. H. S. T. H. Melinda J. Griffiths, «Interference by pigment in the estimation of microalgal biomass concentration by optical density,» *Journal of Microbiological Methods*, nº 85, pp. 119-123, Febrero 2011.
- [40] M. R. Cruz, «REMOCIÓN DE ALGAS PRESENTES EN AGUAS NATURALES MEDIANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN,» Mexico, 2006.
- [41] A. A. Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues, «Algal density assessed by spectrophotometry: Acalibration curve for the unicellular algae Pseudokirchneriella subcapitata,» *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, vol. 3, pp. 225-228, june 2011.

- [42] EPA, shortterm methods for measuring the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms, Tercera Edición ed., Cincinnati: U.S Environmental Protection Agency, 1994.
- [43] T. A. D. H. D. T. J. Lieve M. L. Laurens, «Algal Biomass Constituent Analysis: Method Uncertainties and Investigation of the Underlying Measuring Chemistries,» *Analytical Chemistry*, vol. 84, pp. 1879-1887, Enero 2012.
- [44] S. P. S. Michael Y. Roleda, «Effects of temperature and nutrient regimes on biomass and lipid production by six oleaginous microalgae in batch culture employing a two-phase cultivation strategy,» *Bioresource Technology*, vol. 129, pp. 439-449, November 2012.
- [45] AOAC, «Official method of Analysis,» 1997.
- [46] B. D. R. y. C. R. W, «The Archaea and the Deeply Branching and Phototrophic Bacteria "Phylum Bx. Cyanobacteria".,» de *BERGEY'S MANUAL of Systematic*, segunda edición ed., Michigan, 2001, pp. 473-568.
- [47] E. o. E.-C. f. H. M. a. F. Microalgae, «Dries Vandamme,1 Sandra Cláudia Vieira Pontes,2y,» *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 108, pp. 2320 - 2329, 2011.
- [48] R. H. Vincent M. Rwehumbiza, «Alum-induced flocculation of preconcentrated Nannochloropsis salina: Residual aluminium in the biomass, FAMES and its effects on microalgae growth upon media recycling,» *Chemical Engineering Journal*, pp. 168-175, 2008.
- [49] C. D. Colombia, Ley 99 de 1993, Colombia: Diario oficial , 1993.
- [50] M. d. Salud, DECRETO 475, Colombia: Diario oficial , 1998.
- [51] M. d. a. y. D. s. Ministerio de proteccion social, DECRETO 1575, Colombia: Diario Oficial , 2007.
- [52] V. Y. D. T. MINISTROS DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE, RESOLUCION 2115, Colombia: Diario Oficial , 2007.
- [53] M. d. A. y. D. Sostenible, Resolución 1207, Colombia : Diario Oficial , 2014.

- [54] I. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, RESOLUCION N° 1023, Colombia: Diarrio Oficial , 1997.
- [55] M. D. A. Y. D. RURAL, RESOLUCIÓN 187, Colombia: Diario Oficial , 2006.
- [56] I. C. AGROPECUARIO, RESOLUCIÓN No. 00150, Colombia: Diario Oficial , 2003.
- [57] I. C. AGROPECUARIO, RESOLUCIÓN 000698, Colombia: Diario Oficial , 2011.
- [58] G. T. Colombiana, Manual de métodos analíticos para el control de calidad de agua, Colombia, 1994.
- [59] B. D. R. y. C. R. W., BERGEY'S MANUAL of Systematic Bacteriology, Segunda edición ed., Michigan, 2001.

ANEXOS

ANEXO 1. DATOS OBTENIDOS EN LA ELECTROCOAGULACIÓN DE *Anabaena Sp*

Tabla 5. Efecto del material de electrodo usando Hierro/Aluminio

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	Electrodo	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm²)	Peso i (g)	Peso f (g)	Desgaste (g)
Ánodo	Hierro	4,98	5,96	29,6808	33,7644	33,4334	0,331
Cátodo	aluminio	4,91	6,01	29,5091	15,9859	15,9383	0,0476
condiciones iniciales y finales							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1053	9,91	0,69	20,05	0	900	0,00066937
Final	1153	9,94	0,65	19,06	60		8,54E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	1,182	0	0	17,4502		
1	5	1,082	0,0846024	8,46			
2	10	1,001	0,1531303	15,31			
3	15	0,874	0,2605753	26,06			
4	20	0,779	0,3409475	34,09			
5	25	0,469	0,6032149	60,32			
6	30	0,274	0,7681895	76,82			
7	35	0,255	0,784264	78,43			
8	40	0,145	0,8773266	87,73			
9	45	0,274	0,7681895	76,82			
10	50	0,373	0,6844332	68,44			
11	55	0,435	0,6319797	63,20			
12	60	0,735	0,3781726	37,82			

Tabla 6. Efecto del material de electrodo usando Aluminio/Aluminio

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Ánodo	aluminio	5,08	6,09	30,9372	27,5778	27,5158	0,062
Cátodo	aluminio	5,08	6,07	30,8356	25,2116	25,2006	0,011
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1090	9,86	0,75	20	0	900	0,00051002
Final	981	9,81	0,2	19,92	20		2,4745E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,903	0	0	3,3996		
1	2	0,794	0,1207087	12,07			
2	4	0,426	0,5282392	52,82			
3	6	0,035	0,9612403	96,12			
4	8	0,016	0,9822813	98,23			
5	10	0,014	0,9844961	98,45			
6	12	0,023	0,9745293	97,45			
7	14	0,017	0,9811739	98,12			
8	16	0,018	0,9800664	98,01			
9	18	0,009	0,9900332	99,00			
10	20	0,014	0,9844961	98,45			

Tabla 7. Efecto del material de electrodo usando Acero/Aluminio

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	acero	5,15	6,16	31,724	17,0074	16,4299	0,5775
Catodo	aluminio	4,95	5,17	25,5915	15,3605	15,2824	0,0781
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (μS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1046	9,9	0,63	20	0	900	0,00055782
Final	1018	9,4	0,57	19,89	60		0,00019852
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,987	0	0	15,3383		
1	3	0,988	-0,001013	-0,10			
2	6	0,811	0,1783181	17,83			

3	9	0,753	0,2370821	23,71	
4	12	0,597	0,3951368	39,51	
5	15	0,607	0,3850051	38,50	
6	18	0,38	0,6149949	61,50	
7	21	0,386	0,6089159	60,89	
8	24	0,341	0,6545086	65,45	
9	27	0,349	0,6464032	64,64	
10	30	0,423	0,5714286	57,14	
11	33	0,483	0,5106383	51,06	
12	36	0,587	0,4052685	40,53	
13	39	0,58	0,4123607	41,24	
14	42	0,57	0,4224924	42,25	
15	45	0,605	0,3870314	38,70	
16	48	0,718	0,2725431	27,25	
17	51	0,889	0,0992908	9,93	
18	54	0,809	0,1803445	18,03	
19	57	0,856	0,1327254	13,27	
20	60	0,912	0,0759878	7,60	

Tabla 8. Efecto de la configuración del electrodo con configuración de dos electrodos

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,09	30,9372	27,5778	27,5158	0,062
Catodo	aluminio	5,08	6,07	30,8356	25,2116	25,2006	0,011
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1090	9,86	0,75	20	0	900	0,00051002
Final	981	9,81	0,2	19,92	20		2,4745E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,903	0	0	3,3996		
1	2	0,794	0,12070875	92,10			
2	4	0,426	0,5282392	95,76			
3	6	0,035	0,96124031	99,65			
4	8	0,016	0,98228128	99,84			

5	10	0,014	0,98449612	99,86
6	12	0,023	0,97452935	99,77
7	14	0,017	0,98117386	99,83
8	16	0,018	0,98006645	99,82
9	18	0,009	0,99003322	99,91
10	20	0,014	0,98449612	99,86

Tabla 9. Efecto de la configuración del electrodo con configuración monopolar

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Ánodo	aluminio	5,08	6,09	30,9372	27,5022	27,4538	0,0484
Cátodo	aluminio	5,08	6,08	30,8864	27,5165	27,5063	0,0102
Ánodo	aluminio	5,08	6,11	31,0388	27,5706	27,5435	0,0271
Cátodo	aluminio	5,08	6,07	30,8356	27,2025	27,1935	0,009
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (μS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1057	10,05	0,76	9,38	0	900	0,000547
Final	1041	9,49	0,5	9,32	20		2,6396E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,968	0		2,5094		
1	2	0,859	0,11	11,26			
2	4	0,771	0,20	20,35			
3	6	0,103	0,89	89,36			
4	8	0,050	0,95	94,83			
5	10	0,037	0,96	96,18			
6	12	0,035	0,96	96,38			
7	14	0,029	0,97	97,00			
8	16	0,024	0,98	97,52			
9	18	0,025	0,97	97,42			
10	20	0,014	0,99	98,55			

Tabla 10. Efecto de la configuración del electrodo con configuración bipolar

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm ²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Ánodo	aluminio	5,08	6,11	31,0388	27,5179	27,4651	0,0528
	aluminio	5,08	6,07	30,8356	27,4852	27,4385	0,0467
	aluminio	5,08	6,07	30,8356	27,3917	27,3573	0,0344
Cátodo	aluminio	5,08	6,04	30,6832	27,1712	27,1396	0,0316
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (μS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1068	10,98	0,46	25,81	0	900	0,00051968
Final	1038	9,46	0,42	25,75	20		2,0893E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,920	0	0	2,6181		
1	2	0,116	0,87	87,39			
2	4	0,086	0,91	90,65			
3	6	0,028	0,97	96,96			
4	8	0,027	0,97	97,07			
5	10	0,024	0,97	97,39			
6	12	0,025	0,97	97,28			
7	14	0,023	0,98	97,50			
8	16	0,036	0,96	96,09			
9	18	0,020	0,98	97,83			
10	20	0,036	0,96	96,09			

Tabla 11. Efecto de la conductividad a 1500 μS/cm

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Ánodo	aluminio	5,04	6,01	30,2904	11,3077	11,2097	0,098
Cátodo	aluminio	5,04	6,03	30,3912	11,4279	11,4144	0,0135
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (μS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1556	9,94	1,03	20	0	900	0,00048335
Final	1654	9,57	0,75	19,98	20		3,4103E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,856	0	0	5,0418		
1	2	0,746	0,13	12,85			

2	4	0,648	0,24	24,30
3	6	0,052	0,94	93,93
4	8	0,039	0,95	95,44
5	10	0,053	0,94	93,81
6	12	0,05	0,94	94,16
7	14	0,032	0,96	96,26
8	16	0,031	0,96	96,38
9	18	0,036	0,96	95,79
10	20	0,046	0,95	94,63

Tabla 12. Efecto de la conductividad a 1000 $\mu\text{S/cm}$

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,09	30,9372	27,5778	27,5158	0,062
Catodo	aluminio	5,08	6,07	30,8356	25,2116	25,2006	0,011
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1090	9,86	0,75	20	0	900	0,00051002
Final	981	9,81	0,2	19,92	20		2,4745E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,903	0	0	3,3996		
1	2	0,794	0,12070875	12,07			
2	4	0,426	0,5282392	52,82			
3	6	0,035	0,96124031	96,12			
4	8	0,016	0,98228128	98,23			
5	10	0,014	0,98449612	98,45			
6	12	0,023	0,97452935	97,45			
7	14	0,017	0,98117386	98,12			
8	16	0,018	0,98006645	98,01			
9	18	0,009	0,99003322	99,00			
10	20	0,014	0,98449612	98,45			

Tabla 13. Efecto de la conductividad a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Ánodo	aluminio	5,08	6,13	31,1404	27,7915	27,7686	0,0229
Cátodo	aluminio	5,09	6,09	30,9981	27,6434	27,6429	0,0005
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	543	9,01	0,38	20	0	900	0,00046068
Final	517	8,57	0,35	19,94	20		1,5392E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,846	0	0	2,8093		
1	3	0,729	0,14	13,83			
2	6	0,487	0,42	42,43			
3	9	0,018	0,98	97,87			
4	12	0,023	0,97	97,28			
5	15	0,015	0,98	98,23			
6	18	0,014	0,98	98,35			
7	20	0,018	0,98	97,87			

Tabla 14. Efecto de la conductividad a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm ²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	acero	5,08	6,05	30,734	27,4661	27,4371	0,029
Catodo	aluminio	5,09	6,08	30,9472	27,6629	27,6571	0,0058
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	257	8,94	0,12	20	0	900	0,00047768
Final	174	9,04	0,07	19,92	60		4,6774E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,846	0		6,1256		
1	2	0,8	0,05	5,44			
2	4	0,803	0,05	5,08			
3	6	0,781	0,08	7,68			
4	8	0,79	0,07	6,62			
5	10	0,77	0,09	8,98			
6	12	0,755	0,11	10,76			
7	14	0,752	0,11	11,11			
8	16	0,794	0,06	6,15			
9	18	0,678	0,20	19,86			
10	20	0,502	0,41	40,66			
11	22	0,38	0,55	55,08			
12	25	0,317	0,63	62,53			
13	28	0,284	0,66	66,43			
14	31	0,224	0,74	73,52			
15	34	0,233	0,72	72,46			
16	37	0,225	0,73	73,40			
17	40	0,176	0,79	79,20			
18	43	0,156	0,82	81,56			
19	46	0,131	0,85	84,52			
20	49	0,136	0,84	83,92			
21	52	0,113	0,87	86,64			
22	55	0,093	0,89	89,01			
23	58	0,092	0,89	89,13			
24	60	0,075	0,91	91,13			

Tabla 15. Efecto de la concentración inicial con abs (550 nm) de 0.900

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,09	30,9372	27,5778	27,5158	0,062
Catodo	aluminio	5,08	6,07	30,8356	25,2116	25,2006	0,011
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1090	9,86	0,75	20	0	900	0,00051002
Final	981	9,81	0,2	19,92	20		2,4745E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,903	0	0	3,3996		
1	2	0,794	0,12070875	12,07			
2	4	0,426	0,5282392	52,82			
3	6	0,035	0,96124031	96,12			
4	8	0,016	0,98228128	98,23			
5	10	0,014	0,98449612	98,45			
6	12	0,023	0,97452935	97,45			
7	14	0,017	0,98117386	98,12			
8	16	0,018	0,98006645	98,01			
9	18	0,009	0,99003322	99,00			
10	20	0,014	0,98449612	98,45			

Tabla 16. Efecto de la concentración inicial con abs (550 nm) de 0.800

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm ²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,04	6,01	30,2904	11,3077	11,2097	0,098
Catodo	aluminio	5,04	6,03	30,3912	11,4279	11,4144	0,0135
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (μS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1056	9,94	0,64	20	0	900	0,00048335

Final	1054	9,57	0,44	19,98	20		3,4103E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,856	0	0	3,3048		
1	2	0,746	0,12181617	12,18			
2	4	0,648	0,2303433	23,03			
3	6	0,052	0,89036545	89,04			
4	8	0,039	0,9047619	90,48			
5	10	0,053	0,88925803	88,93			
6	12	0,05	0,89258029	89,26			
7	14	0,032	0,91251384	91,25			
8	16	0,031	0,91362126	91,36			
9	18	0,036	0,90808416	90,81			
10	20	0,046	0,89700997	89,70			

Tabla 17. Efecto de la concentración inicial con abs (550 nm) de 1.000

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,01	6,05	30,3105	25,1753	24,9049	0,2704
Catodo	aluminio	5,05	6,09	30,7545	25,2631	25,2133	0,0498
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1057	9,57	0,64	20	0	900	0,0006012
Final	1081	8,57	0,14	19,89	20		3,7408E-5
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	1,063	0	0	2,5022		
1	2	0,98	0,0780809	7,81			
2	4	0,331	0,68861712	68,86			
3	6	0,058	0,94543744	94,54			
4	8	0,04	0,96237065	96,24			
5	10	0,032	0,96989652	96,99			
6	12	0,024	0,97742239	97,74			
7	14	0,022	0,97930386	97,93			
8	16	0,029	0,97271872	97,27			
9	18	0,025	0,97648166	97,65			
10	20	0,016	0,98494826	98,49			

Tabla 18. Efecto del voltaje a 20 V

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,09	30,9372	27,5778	27,5158	0,062
Catodo	aluminio	5,08	6,07	30,8356	25,2116	25,2006	0,011
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1090	9,86	0,75	20	0	900	0,000510023
Final	981	9,81	0,2	19,92	20		2,4745E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,903	0	0	3,3996		
1	2	0,794	0,12070875	12,07			
2	4	0,426	0,5282392	52,82			
3	6	0,035	0,96124031	96,12			
4	8	0,016	0,98228128	98,23			
5	10	0,014	0,98449612	98,45			
6	12	0,023	0,97452935	97,45			
7	14	0,017	0,98117386	98,12			
8	16	0,018	0,98006645	98,01			
9	18	0,009	0,99003322	99,00			
10	20	0,014	0,98449612	98,45			

Tabla 19. Efecto del voltaje a 15 V

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,06	30,7848	27,4168	27,3326	0,0842
Catodo	aluminio	5,08	6,09	30,9372	27,6338	27,6143	0,0195
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1038	9,37	0,65	15	0	900	0,000548135
Final	1070	9,15	0,61	14	20		3,02492E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		

Inicial	0	0,970	0	0	2,0725
1	2	0,718	0,25979381	25,98	
2	4	0,545	0,43814433	43,81	
3	6	0,045	0,95360825	95,36	
4	8	0,029	0,97010309	97,01	
5	10	0,031	0,96804124	96,80	
6	12	0,025	0,9742268	97,42	
7	14	0,030	0,96907216	96,91	
8	16	0,030	0,96907216	96,91	
9	18	0,037	0,96185567	96,19	
10	20	0,020	0,97938144	97,94	

Tabla 20. Efecto del voltaje a 10 V

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,07	6,13	31,0791	27,7314	27,6831	0,0483
Catodo	aluminio	5,08	6,09	30,9372	27,6241	27,6142	0,0099
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1044	9,23	0,38	10	0	900	0,000510023
Final	1047	9,14	0,34	9,95	20		2,4745E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,938	0	0	1,1819		
1	2	0,852	0,09168443	9,17			
2	4	0,783	0,1652452	16,52			
3	6	0,138	0,85287846	85,29			
4	8	0,062	0,93390192	93,39			
5	10	0,045	0,95202559	95,20			
6	12	0,043	0,95415778	95,42			
7	14	0,029	0,96908316	96,91			
8	16	0,022	0,97654584	97,65			
9	18	0,012	0,98720682	98,72			
10	20	0,013	0,98614072	98,61			

Tabla 21. Efecto del voltaje a 5 V

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	acero	5,08	6,08	30,8864	27,5978	27,5868	0,011
Catodo	aluminio	5,08	6,13	31,1404	27,6569	27,6403	0,0166
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1022	9,33	0,17	5	0	900	0,000500936
Final	1018	9,4	0,4	4,95	60		2,74969E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,887	0	0	2,1142		
1	2	1,049	-0,18263811	-18,26			
2	4	0,799	0,09921082	9,92			
3	6	0,79	0,10935738	10,94			
4	8	0,749	0,15558061	15,56			
5	10	0,621	0,29988726	29,99			
6	12	0,302	0,65952649	65,95			
7	14	0,215	0,75760992	75,76			
8	17	0,251	0,71702368	71,70			
9	19	0,158	0,82187148	82,19			
10	21	0,148	0,83314543	83,31			
11	24	0,159	0,82074408	82,07			
12	27	0,119	0,86583991	86,58			
13	30	0,096	0,89177001	89,18			
14	33	0,087	0,90191657	90,19			
15	36	0,077	0,91319053	91,32			
16	39	0,071	0,9199549	92,00			
17	42	0,061	0,93122886	93,12			
18	45	0,066	0,92559188	92,56			
19	48	0,06	0,93235626	93,24			
20	51	0,047	0,9470124	94,70			
21	54	0,046	0,9481398	94,81			
22	57	0,047	0,9470124	94,70			
23	60	0,04	0,95490417	95,49			

Tabla 22. Efecto del pH, con pH 7

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,09	30,9372	27,5778	27,5158	0,062
Catodo	aluminio	5,08	6,07	30,8356	25,2116	25,2006	0,011
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1111	7,06	0,78	20	0	900	0,000455018
Final	1078	8,45	0,3	19,94	20		3,02492E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,806	0	0	4,0346		
1	2	0,910	-0,12903226	-12,90			
2	4	0,446	0,44665012	44,67			
3	6	0,045	0,94416873	94,42			
4	8	0,037	0,95409429	95,41			
5	10	0,024	0,97022333	97,02			
6	12	0,015	0,98138958	98,14			
7	14	0,019	0,9764268	97,64			
8	16	0,011	0,98635236	98,64			
9	18	0,010	0,98759305	98,76			
10	20	0,012	0,98511166	98,51			

Tabla 23. Efecto del pH, con pH 9

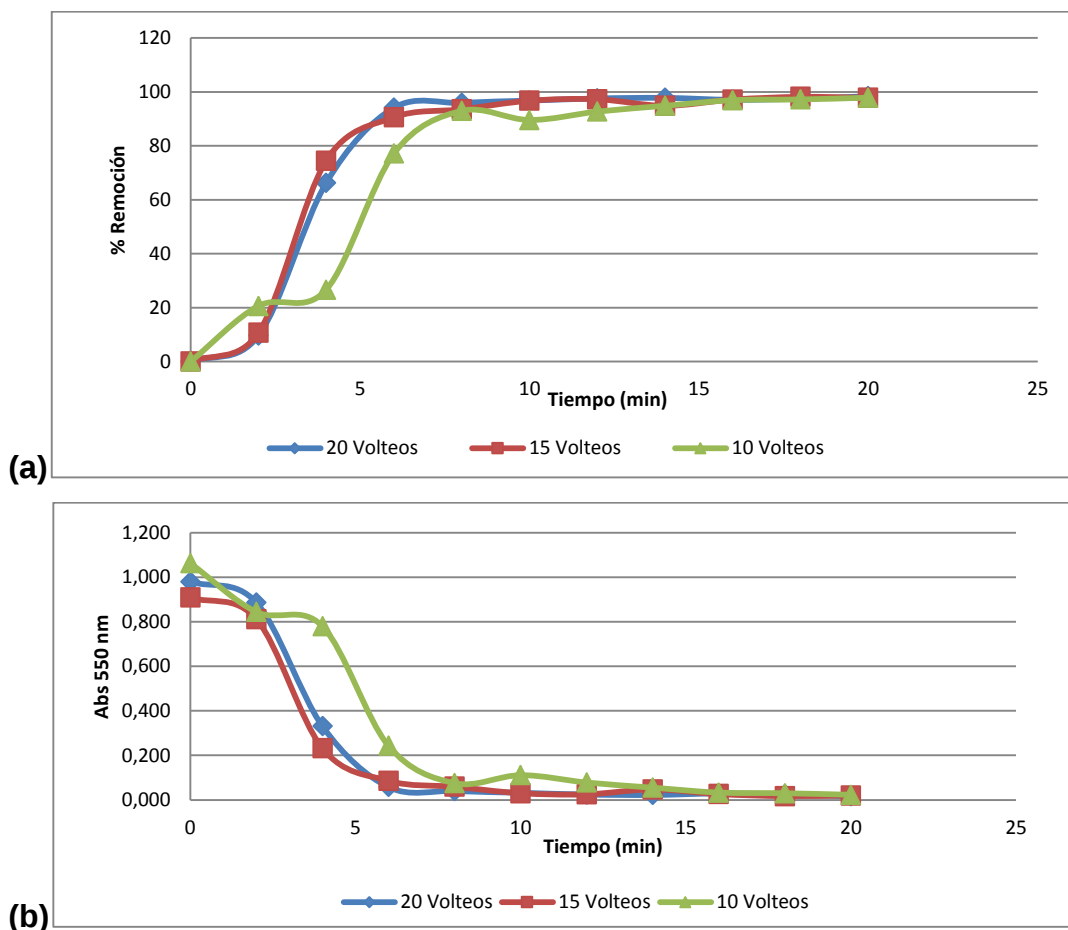
INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,09	30,9372	27,5778	27,5158	0,062
Catodo	aluminio	5,08	6,07	30,8356	25,2116	25,2006	0,011
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (μS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1009	9,86	0,75	20	0	900	0,000510023
Final	981	9,81	0,2	19,92	20		2,4745E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,903	0	0	3,3996		
1	2	0,794	0,12070875	12,07			
2	4	0,426	0,5282392	52,82			
3	6	0,035	0,96124031	96,12			
4	8	0,016	0,98228128	98,23			
5	10	0,014	0,98449612	98,45			
6	12	0,023	0,97452935	97,45			
7	14	0,017	0,98117386	98,12			
8	16	0,018	0,98006645	98,01			
9	18	0,009	0,99003322	99,00			
10	20	0,014	0,98449612	98,45			

Tabla 24. Efecto del pH, con pH 11

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,13	31,1404	27,6178	27,5915	0,0263
Catodo	aluminio	5,08	6,11	31,0388	27,6058	27,5928	0,013
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1096	11,03	0,76	20	0	900	0,000470875
Final	1019	9,66	0,46	19,96	20		3,24515E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,834	0	0	3,8106		
1	2	0,823	0,01318945	1,32			
2	4	0,242	0,70983213	70,98			
3	6	0,049	0,941247	94,12			
4	8	0,029	0,96522782	96,52			
5	10	0,014	0,98321343	98,32			
6	12	0,009	0,98920863	98,92			
7	14	0,006	0,99280576	99,28			
8	16	0,015	0,98201439	98,20			
9	18	0,014	0,98321343	98,32			
10	2	0,009	0,98920863	98,92			

ANEXO 2. DATOS OBTENIDOS EN LA ELECTROCOAGULACIÓN DE *Anabaena* Sp Y DETERMINACIÓN DE METALES

Figura 19. Efecto del voltaje en función del porcentaje de remoción y la concentración de algas, para la determinación de metales



Fuente: propia

Eficiencia de remoción algal en función del tiempo de electrocoagulación, variando los voltajes (determinación de metales). Condiciones: conductividad, 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; pH inicial, 9; volumen, 900 ml; temperatura, 25 $^{\circ}\text{C}$.

Tabla 25. Efecto del voltaje a 20 V, para determinar metales

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Ánodo	aluminio	5,08	6,08	30,8864	27,4199	27,3643	0,0556
Cátodo	aluminio	5,08	6,05	30,734	27,1236	27,1109	0,0127
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (μS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1016	9,83	0,76	20	0	900	0,00055383
Final	985	8,32	0,66	19,94	20		3,7408E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,980	0	0	3,2413		
1	2	0,886	0,09591837	9,59			
2	4	0,331	0,6622449	66,22			
3	6	0,058	0,94081633	94,08			
4	8	0,040	0,95918367	95,92			
5	10	0,032	0,96734694	96,73			
6	12	0,024	0,9755102	97,55			
7	14	0,022	0,97755102	97,76			
8	16	0,029	0,97040816	97,04			
9	18	0,025	0,9744898	97,45			
10	20	0,016	0,98367347	98,37			

Tabla 26. Efecto del voltaje a 15 V, para determinar metales

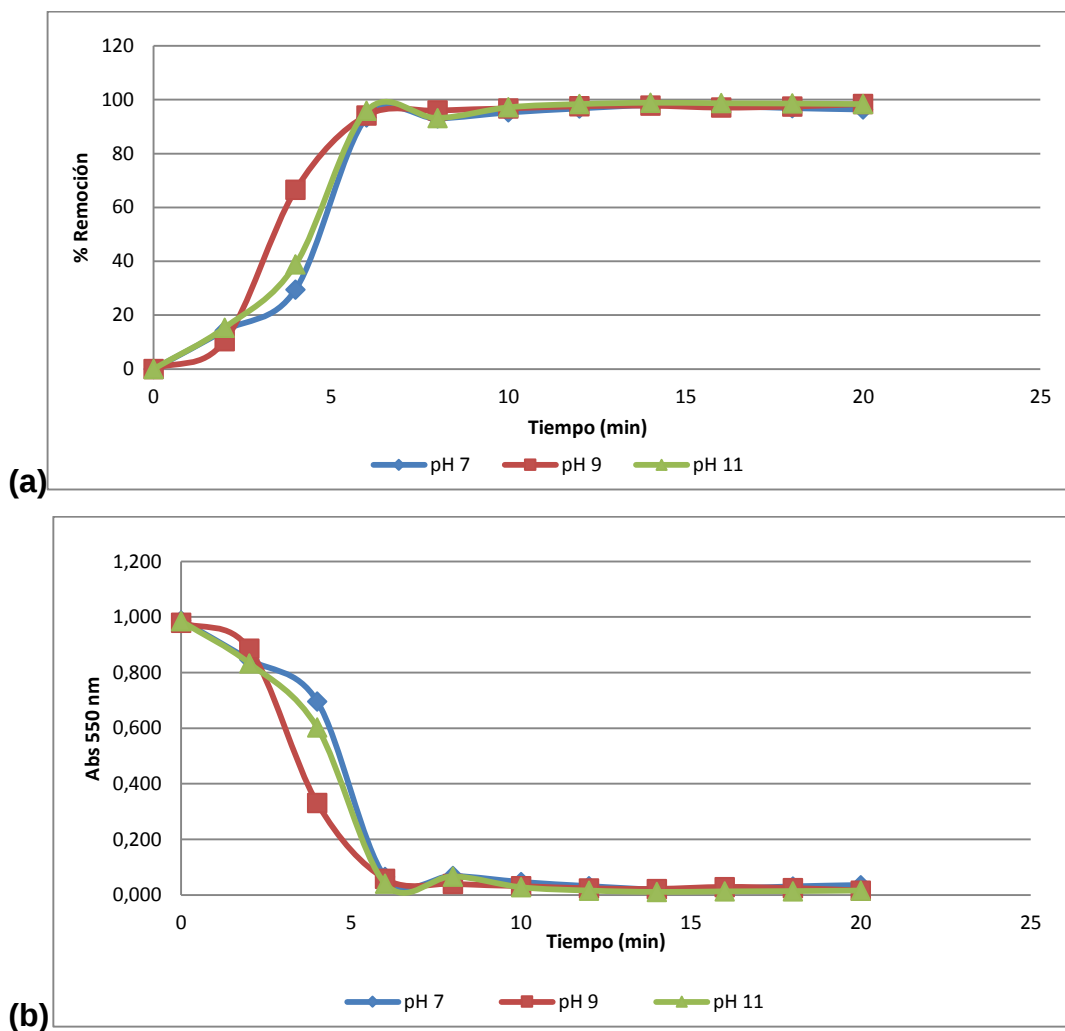
INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Ánodo	aluminio	5,08	6,1	30,988	27,3193	27,2991	0,0202
Cátodo	aluminio	5,08	6,13	31,1404	27,4269	27,4093	0,0176
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1072	9,95	0,52	15	0	900	0,00051343
Final	1080	9,82	0,07	14,92	20		5,2837E-05
DATOS OBTENIDOS							

MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)
Inicial	0	0,909	0	0	1,8644
1	2	0,812	0,10671067	10,67	
2	4	0,232	0,74477448	74,48	
3	6	0,086	0,90539054	90,54	
4	8	0,059	0,93509351	93,51	
5	10	0,030	0,9669967	96,70	
6	12	0,025	0,97249725	97,25	
7	14	0,047	0,94829483	94,83	
8	16	0,026	0,97139714	97,14	
9	18	0,017	0,98129813	98,13	
10	20	0,020	0,9779978	97,80	

Tabla 27. Efecto del voltaje a 10 V, para determinar metales

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,06	30,7848	27,0834	27,0733	0,0101
Catodo	aluminio	5,05	6,08	30,704	27,2827	27,2686	0,0141
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1040	9,94	0,35	10,01	0	900	0,00051343
Final	1098	9,14	0,05	9,98	20		5,2837E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,909	0	0	1,0811		
1	2	0,812	0,10671067	10,67			
2	4	0,232	0,74477448	74,48			
3	6	0,086	0,90539054	90,54			
4	8	0,059	0,93509351	93,51			
5	10	0,030	0,9669967	96,70			
6	12	0,025	0,97249725	97,25			
7	14	0,047	0,94829483	94,83			
8	16	0,026	0,97139714	97,14			
9	18	0,017	0,98129813	98,13			
10	20	0,020	0,9779978	97,80			

Figura 20. Efecto del pH en función del porcentaje de remoción y la concentración de algas, para la determinación de metales



Fuente: propia

Eficiencia de remoción algal en función del tiempo de electrocoagulación, variando el pH (determinación de metales). Condiciones: conductividad, 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; voltaje, 20 V; volumen, 900 ml; temperatura, 25 °C.

Tabla 28. Efecto del pH 7 para determinar metales

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,08	30,8864	27,3091	27,2164	0,0927
Catodo	aluminio	5,08	6,11	31,0388	27,3822	27,3626	0,0196
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1056	7,28	0,79	20	0	900	0,00055839
Final	1079	8,6	0,69	19,93	20		4,1264E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,988	0	0	3,3654		
1	2	0,847	0,14271255	14,27			
2	4	0,697	0,29453441	29,45			
3	6	0,065	0,93421053	93,42			
4	8	0,069	0,93016194	93,02			
5	10	0,047	0,95242915	95,24			
6	12	0,032	0,96761134	96,76			
7	14	0,020	0,97975709	97,98			
8	16	0,023	0,97672065	97,67			
9	18	0,031	0,96862348	96,86			
10	20	0,036	0,96356275	96,36			

Tabla 29. Efecto del pH 9 para determinar metales

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,08	30,8864	27,4199	27,3643	0,0556
Catodo	aluminio	5,08	6,05	30,734	27,1236	27,1109	0,0127
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1016	9,83	0,76	20	0	900	0,00055383
Final	985	8,32	0,66	19,94	20		3,7408E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,980	0	0	3,2413		
1	2	0,886	0,09591837	9,59			
2	4	0,331	0,6622449	66,22			
3	6	0,058	0,94081633	94,08			

4	8	0,040	0,95918367	95,92	
5	10	0,032	0,96734694	96,73	
6	12	0,024	0,9755102	97,55	
7	14	0,022	0,97755102	97,76	
8	16	0,029	0,97040816	97,04	
9	18	0,025	0,9744898	97,45	
10	20	0,016	0,98367347	98,37	

Tabla 30. Efecto del pH 11 para determinar metales

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,08	30,8864	27,2516	27,178	0,0736
Catodo	aluminio	5,08	6,05	30,734	27,0496	27,0237	0,0259
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1067	11,1	0,78	20	0	900	0,00055668
Final	1070	9,1	0,55	19,95	20		2,8047E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,985	0	0	3,2489		
1	2	0,834	0,15329949	15,33			
2	4	0,603	0,38781726	38,78			
3	6	0,041	0,95837563	95,84			
4	8	0,067	0,9319797	93,20			
5	10	0,028	0,9715736	97,16			
6	12	0,016	0,98375635	98,38			
7	14	0,011	0,98883249	98,88			
8	16	0,013	0,98680203	98,68			
9	18	0,014	0,9857868	98,58			
10	20	0,016	0,98375635	98,38			

Tabla 31. Efecto de la conductividad a 1500 $\mu\text{S/cm}$, para determinar metales

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,03	30,6324	26,9256	26,8044	0,1212
Catodo	aluminio	5,08	6,08	30,8864	27,0653	27,0337	0,0316
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1502	10,3	1,06	20	0	900	0,0005322
Final	1412	9,13	1,12	19,93	20		2,0893E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,942	0	0	4,5617		
1	2	0,761	0,19214437	19,21			
2	4	0,118	0,87473461	87,47			
3	6	0,028	0,97027601	97,03			
4	8	0,036	0,96178344	96,18			
5	10	0,020	0,97876858	97,88			
6	12	0,051	0,94585987	94,59			
7	14	0,023	0,97558386	97,56			
8	16	0,045	0,9522293	95,22			
9	18	0,018	0,98089172	98,09			
10	20	0,036	0,96178344	96,18			

Tabla 32. Efecto de la conductividad a 1000 $\mu\text{S/cm}$, para determinar metales

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,08	30,8864	27,4199	27,3643	0,0556
Catodo	aluminio	5,08	6,05	30,734	27,1236	27,1109	0,0127
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	1016	9,83	0,76	20	0	900	0,00055383
Final	985	8,32	0,66	19,94	20		3,7408E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,980	0	0	3,2413		
1	2	0,886	0,09591837	9,59			
2	4	0,331	0,6622449	66,22			
3	6	0,058	0,94081633	94,08			
4	8	0,040	0,95918367	95,92			
5	10	0,032	0,96734694	96,73			
6	12	0,024	0,9755102	97,55			
7	14	0,022	0,97755102	97,76			

8	16	0,029	0,97040816	97,04	
9	18	0,025	0,9744898	97,45	
10	20	0,016	0,98367347	98,37	

Tabla 33. Efecto de la conductividad a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para determinar metales

INFORMACIÓN DE ELECTRODOS							
	ELECTRODO	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm²)	PESO i (g)	PESO F (g)	DESGASTE (g)
Anodo	aluminio	5,08	6,09	30,9372	27,0772	27,0639	0,0133
Catodo	aluminio	5,08	6,12	31,0896	27,2901	27,2769	0,0132
CONDICIONES INICIALES Y FINALES							
CONDICIÓN	Conductividad (µS/cm)	pH	I (A)	U(V)	T (min)	V (ml)	Concentración de algas (g/ml)
Inicial	508	9,78	0,41	20	0	900	0,00053561
Final	530	9,92	0,05	19,94	20		5,5594E-05
DATOS OBTENIDOS							
MUESTRA	TIEMPO (min)	ABS (550 nm)	% REMOCIÓN		ENERGIA CONSUMIDA (kWh / kg)		
Inicial	0	0,948	0	0	3,1362		
1	2	0,785	0,17194093	17,19			
2	4	0,737	0,22257384	22,26			
3	6	0,369	0,61075949	61,08			
4	8	0,131	0,86181435	86,18			
5	10	0,091	0,90400844	90,40			
6	12	0,085	0,91033755	91,03			
7	14	0,052	0,94514768	94,51			
8	16	0,082	0,91350211	91,35			
9	18	0,032	0,96624473	96,62			
10	20	0,022	0,97679325	97,68			

ANEXO 3. FICHAS TÉCNICAS DE LOS ELECTRODOS

PLATINAS				
FICHA TÉCNICA DE PRODUCTOS PARA INDUSTRIA				
INSTRUCCIONES: La siguiente información representa todas las especificaciones técnicas correspondientes al producto final suministrado por la compañía. Cualquier especificación que no esté debidamente identificada en este formato no será tenida en cuenta para verificar la garantía en el producto.				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PRODUCTO				
NOMBRE DEL PRODUCTO:	Platinas de Aluminio para conducción eléctrica. Certificado de Conformidad de Producto CIDET No.03243 .			
DESCRIPCIÓN:	Platinas de Aluminio AA6101 Anchos de ¼" (6.35mm) a 8" (203.20mm) Calibres de 1/16" (1.58mm) a 1"(25.4mm).			
USO:	Fabricación de tableros eléctricos de distribución, control y de mando en general para baja, media y alta tensión y sub-estaciones eléctricas.			
	ALEACIÓN:	AA6101	TEMPLE: T6/H11	NORMA: ASTM B-317
	ELEMENTO	DESIGNACIÓN	Min (%)	Máx (%)
	SILICIO	Si	0,3	0,7
	HIERRO	Fe	0,005	0,5
	COBRE	Cu	0,005	0,1
	MANGANESO	Mn	0,005	0,03
	MAGNESIO	Mg	0,35	0,8
	CROMO	Cr	0,005	0,03
	NIQUEL	Ni	0,005	0,005
	ZINC	Zn	0,005	0,1
	BORO	B	0,005	0,06
	ALUMINIO	Al	0,005	0,005
	OTROS Elementos			0,1
	OBSERVACIONES:	Aleación y temple según norma ASTM B 317		
	Conductividad térmica	A 25°C igual a 2.18W/cm. K		
Coeficiente de expansión lineal	(20 – 100°C)= 23.5 x 10-6/K			
Densidad	a 20°C = 2.700 g/cm3			
Resistencia a la tracción (Kg/mm2)	Temple T6 Espesor (3.17mm a 12.7mm) 20.4 Kg/mm2 Temple H11 : 8.5 min kg/mm2			
Resistencia al punto cedente (Kg/mm2)	Temple T6 Espesor (3.17mm a 12.7mm) 17.5 Kg/mm2 Temple H11 : 5.6 min kg/mm2			
PROPIEDADES ELÉCTRICAS:	Conductividad eléctrica	Mínima 55% IACS a 20°C		
NORMAS Y CERTIFICADOS	CUMPLE NORMA	ASTM B-317 Certificado de Conformidad de Producto CIDET No.03243		
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN				
PROCESO DE FABRICACIÓN:	Platina sólida extruida en caliente, con bordes rectangulares o redondeados y sección transversal simétrica			
	CUMPLE NORMA:	ASTM B-317		
PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO:	DESCRIPCIÓN:	44 REFERENCIAS DE PLATINAS REDONDEADAS Y RECTANGULARES Anchos de ¼" (6.35mm) a 8" (203.20mm) Calibres de 1/16" (1.58mm) a 1"(25.4mm).		
OTRAS CARACTERÍSTICAS	LONGITUD	Platinas en 6m para AA6101 T6. Las platinas que deban curvarse a diferentes ángulos hasta 90° se suministran únicamente en largos de 3.000mm y llevan un tratamiento térmico de recocido adicional H11.		
	SERVICIO ASOCIADO	Si la caja por mal manejo en el transporte resulta defectuosa al momento de la recepción en el almacén del CLIENTE, se debe rechazar e instalar un reclamo por el material dañado. Si se detectan no conformidades en el proceso de fabricación de los tableros o en el uso de electrotecnia, el proveedor debe asumir los costos del aluminio siempre que se compruebe la no conformidad del material. En la remisión correspondiente al material debe aparecer el número de la orden de compra y el número del lote de fabricación.		



ACERO LAMINADO EN FRIO

ACESCO produce acero laminado en frío de bajo carbono y en calidad comercial, estructural y embutición profunda, en rollos hasta de 20 toneladas o en láminas cortadas a la medida, en espesores desde 0.30 mm hasta 1.90 mm y anchos desde 914 mm hasta 1220 mm. Disponible como acero laminado en frío recocido y templado o sin recocer (full hard).

El acero laminado en frío de ACESCO es recocido en campana con posterior temple mecánico. Utilizado por la industria metalmeccánica, auto partes, construcción, entre otras.

Calidad Comercial, Estructural y Embutición*

Norma: ASTM A1008M

Tolerancias: ASTM A568M

FICHA TÉCNICA

Rango Espesor	Ancho Bobina	Longitud Lámina
1.90 - 1.40	1000, 1220	2000, 2440
1.20 - 0.45	914, 1000 y 1220	

*0.46mm a 0.90mm
Dimensiones en milímetros

PROPIEDADES MECANICAS

Calidad	Fluencia Mpa	Resistencia Mpa	Elongación %
CS Comercial	-	-	-
SS Grado 33	230	330	22
SS Grado 40*	275	360	20

*Bajo pedido con tres meses de anticipación.

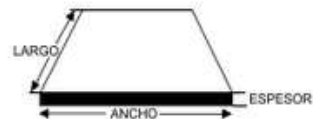
TOLERANCIAS ESPESOR (mm)

Ancho especificado hasta (mm)	Tolerancia superior e inferior (+/-) Espesor nominal (mm)			
	Hasta 0.40	Más de 0.40 a 1.0 inclusive	Más de 1.0 a 1.2 inclusive	Más de 1.2 a 2.5 inclusive
1220	0.05	0.08	0.1	0.12

Tolerancia máxima en longitud: +35
Tolerancia máxima en ancho: +6 mm
Tolerancia máxima en planitud: 30 mm en 1.50 m

LAMINAS HOT ROLLED O LAMINADAS EN CALIENTE

DIMENSIONES Y PROPIEDADES



Calidades más comunes		COMPOSICIÓN QUÍMICA							PROPIEDADES MECÁNICAS				APLICACIONES MÁS FRECUENTES	
		L	C	MN	P	S	SI	CU	LÍMITE ELÁSTICO		RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			% ALARGA
ASTM	DIN		(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)						
A - 36	ST 33 - 1.2	MIN		80				15	23 kg / mm2		41 kg / mm2	400 Mpa	20	Estructuras metálicas en general
		MAX	25	120	4	4	30	20	25 kg / mm2	250 Mpa	56 kg / mm2	550 Mpa	23	
A 283 GR C	RST 37 - 1.2	MIN		50				7			39 kg / mm2	380 Mpa	20	Tanques de almacenamiento
		MAX	18	90	3,5	3,5	35	30	21 kg / mm2	205 Mpa	46 kg / mm2	450 Mpa	23	Recipientes a presión de baja en intermedia resistencia a la tracción
A 285 GR C		MIN									38 kg / mm2	380 Mpa	23	
		MAX	28	90	3,5	3,5			21 kg / mm2	205 Mpa	45 kg / mm2	515 Mpa	27	Construcción naval en general
A 131GR A	RST 34 - 1.2	MIN		53							41 kg / mm2	400 Mpa	21	
		MAX	21		4	4	50,4		23 kg / mm2	235 Mpa	50 kg / mm2	490 Mpa	24	Recipientes a presión temperaturas media - alta
A 516 GR 70		MIN	27	85			15				49 kg / mm2	485 Mpa	17	
		MAX	31	120	4	3,5	40		27 kg / mm2	260 Mpa	63 kg / mm2	620 Mpa	21	Resistencia a la abrasión
A 514 GR A	RQT 601	MIN				1,5					71 kg / mm2	690 Mpa		
		MAX	20	150	3,5	4	50		64 kg / mm2	600 Mpa	87 kg / mm2	850 Mpa	19	

ANEXO 4. RESULTADOS DETERMINACIÓN DE METALES

cianobacteria	Condición	[mg/L]	A	Dilución		concentración [mg/L]
<i>Anabaenasp</i>	pH7	45,773	0,0506	20	50	114,4325
<i>Anabaenasp</i>	PH11	49,097	0,0542	20	50	122,7425
<i>Anabaenasp</i>	10V	23,147	0,0259	1	10	231,47
<i>Anabaenasp</i>	15V	37,564	0,0417	1	10	375,64
<i>Anabaenasp</i>	20V	42,233	0,0468	20	50	105,5825
<i>Anabaenasp</i>	500 μ S/cm	32,328	0,036	1	10	323,28
<i>Anabaenasp</i>	1500 μ S/cm	31,968	0,0356	20	50	79,92
<i>Anabaenasp</i>	1500 μ S/cm	7,5	0,0089	1	1	7,5
<i>Anabaenasp</i>	500 μ S/cm	9,145	0,0107	1	1	9,145
<i>Anabaenasp</i>	pH 7	25,31	0,0283	1	1	25,31
<i>Anabaenasp</i>	pH 11	32,781	0,0365	1	1	32,781
<i>Anabaenasp</i>	1500 μ S/cm	22,941	0,0257	1	1	22,941
<i>Anabaenasp</i>	20 V	12,446	0,0143	1	1	12,446
<i>Anabaenasp</i>	15 V	11,108	0,0128	1	1	11,108
<i>Anabaenasp</i>	10 V	10,794	0,0125	1	1	10,794